Marcelo Mesny

CALDERAS DE VAPOR

MANUAL DEL FOGUISTA

TEORIA-MANEJO-MANTENIMIENTO

Ediciones Marymar

CALDERAS DE VAPOR

Marcelo Mesny

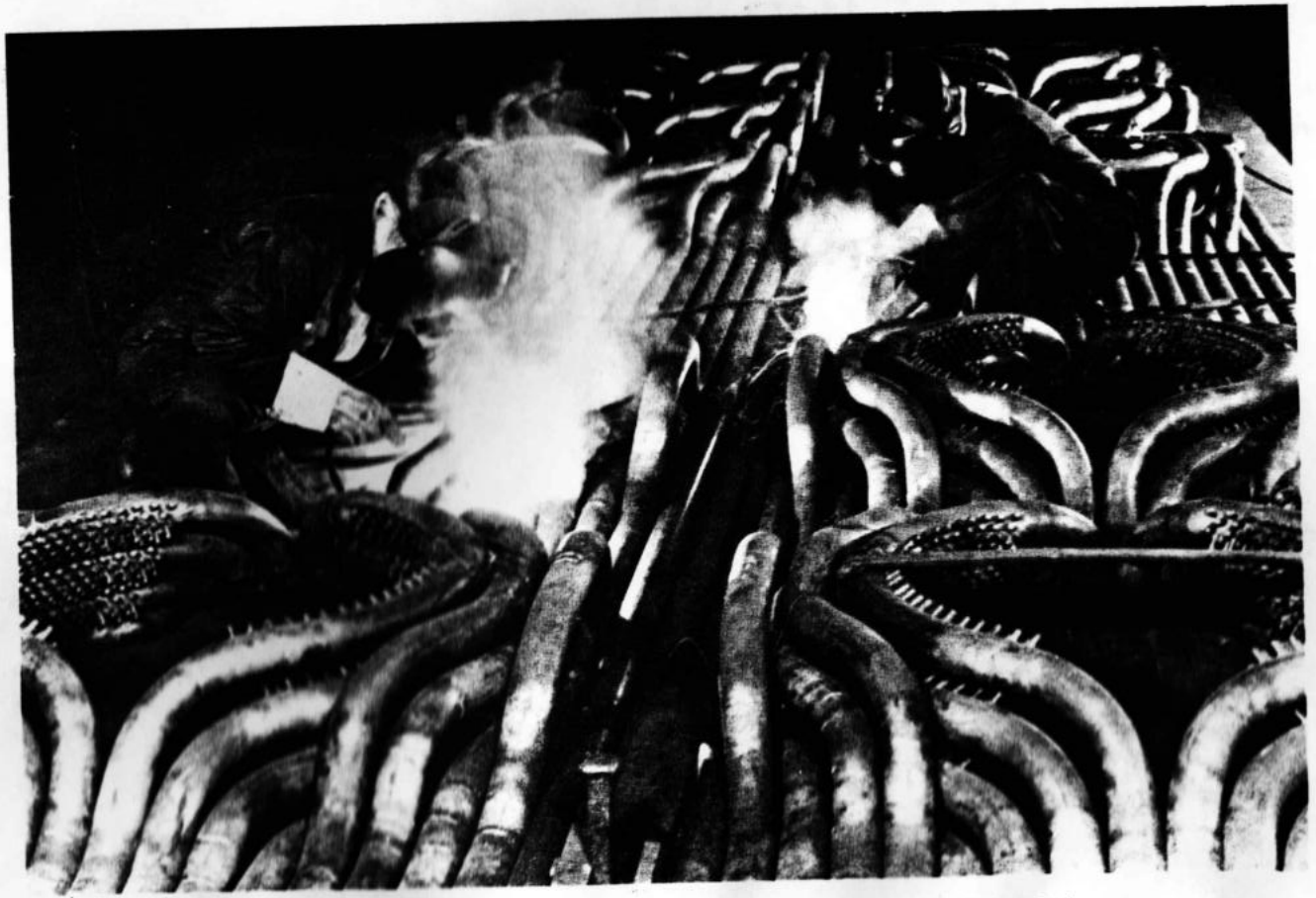
El autor de esta obra adquirió gran experiencia, en todo lo relativo a la práctica de la enseñanza, durante su carrera de profesor de escuelas industriales y en universidades argentinas.

En este libro se han hecho accesibles al principiante, por la forma de presentarlos, todos los temas referentes a la producción del vapor de agua, pero sin menoscabo del rigor científico con el que deben ser desarrollados.

El lector que posea los rudimentos de mecánica, física y química podrá utilizar este texto sin dificultad y comprenderá fácilmente todas las explicaciones que se hacen, sea sobre los conceptos elementales de presión, calor y vaporización, sea en lo relativo a la combustión, generación del vapor, transmisión del calor, sobrecalentamiento del vapor, calentamiento del agua de alimentación de las calderas, pruebas de las mismas y otros temas de similar importancia.

El autor es ingeniero mecánico y electricista graduado en la Universidad Nacional de La Plata; ha publicado trabajos en el tema de su especialidad y realizó viajes de estudio y reciclado a Europa.

Publicó varios libros, entre los cuales cabe destacar: **La Máquina de Vapor; El Motor del Automóvil; Motores Diesel; Centrales Térmicas: estudio de sus ciclos; Transmisión del Calor** y **Generación del Vapor.**



Montaje en fábrica de una pared de agua para una central. Gentileza de Babcock y Wilcox Ltd.

621.1
MESc

Marcelo Mesny

Ingeniero Mecánico y Electricista
Profesor Titular de la Escuela Superior Técnica del Ejército
Profesor Titular de la Facultad Regional La Plata
Profesor de la Universidad Tecnológica Nacional
Profesor Titular "ad honorem" de la Facultad de Ingeniería
de la Universidad Nacional de La Plata

CALDERAS DE VAPOR

MANUAL DEL FOGUISTA

(Descripción, teoría, manejo y mantenimiento)

Ediciones Marymar

La reproducción total o parcial de este libro en forma idéntica o modificada, escrita a máquina por el sistema *multigraph*, mimeógrafo, impreso, etc., no autorizada por los editores, viola derechos reservados. Cualquier utilización debe ser previamente solicitada.

621.1

Mesny, Marcelo

Calderas de vapor; descripción, teoría, manejo y mantenimiento. Buenos Aires, Marymar, 1977.

212 p 23 cm. (Col. Ciencia y Tecnología)

1. CALDERAS DE VAPOR I. Título

© by MARYMAR EDICIONES, S.A.

Chile 1432 - Buenos Aires

Todos los derechos reservados

Primera edición: 1977 2ª reimpresión: *1981*

Queda hecho el depósito que establece la ley 11.723

Impreso en Argentina

Printed in Argentina

I.S.B.N. 950-503-097-5

INDICE

Prólogo a la primera edición IX

CAPITULO I

Generalidades 1

1. Fuerza. — 2. Presión ejercida por una fuerza. — 3. Trabajo. — 4. Potencia. — 5. El caballo hora. — 6. Temperatura. — 7. Conversión de grados centígrados en grados Farenheit y viceversa. — 8. Peso específico. — 9. Presión ejercida por un gas. Presión atmosférica. — 10. Presión absoluta. — 11. Presión efectiva. — 12. Fuente de calor. — 13. Cantidad de calor. — 14. Calor específico. — 15. Transmisión del calor. — 16. Conductibilidad térmica. — 17. Dilatación de los cuerpos por el calor. — 18. Vaporización. — 19. Ebullición en vaso abierto. — 20. Ebullición en vaso cerrado. — 21. Producción del vapor de agua. — 22. Vapor seco. — 23. Calor de vaporización. — 24. Calor total de un vapor. — 25. Vapor húmedo. — 26. Título o calidad de un vapor. — 27. Vapor sobrecalentado.

CAPITULO II

Combustión 37

1. Teoría elemental de la combustión. — 2. Oxígeno necesario para la combustión. — 3. Aire necesario para la combustión. — 4. Poder calorífico.

CAPITULO III

Combustibles 45

1. Generalidades. — 2. Combustibles industriales. — 3. Poder calorífico. — 4. Humedad. — 5. Cenizas y escorias. — 6. Azufre. — 7. Materias volátiles y coque. — 8. Combustibles sólidos. Origen de la hulla. — 9. Clasificación de las hullas. — 10. Lignito. —

INDICE

Prólogo a la primera edición IX

CAPITULO I

Generalidades 1

1. Fuerza. – 2. Presión ejercida por una fuerza. – 3. Trabajo. – 4. Potencia. – 5. El caballo hora. – 6. Temperatura. – 7. Conversión de grados centígrados en grados Farenheit y viceversa. – 8. Peso específico. – 9. Presión ejercida por un gas. Presión atmosférica. – 10. Presión absoluta. – 11. Presión efectiva. – 12. Fuente de calor. – 13. Cantidad de calor. – 14. Calor específico. – 15. Transmisión del calor. – 16. Conductibilidad térmica. – 17. Dilatación de los cuerpos por el calor. – 18. Vaporización. – 19. Ebullición en vaso abierto. – 20. Ebullición en vaso cerrado. – 21. Producción del vapor de agua. – 22. Vapor seco. – 23. Calor de vaporización. – 24. Calor total de un vapor. – 25. Vapor húmedo. – 26. Título o calidad de un vapor. – 27. Vapor sobrecalentado.

CAPITULO II

Combustión 37

1. Teoría elemental de la combustión. – 2. Oxígeno necesario para la combustión. – 3. Aire necesario para la combustión. – 4. Poder calorífico.

CAPITULO III

Combustibles 45

1. Generalidades. – 2. Combustibles industriales. – 3. Poder calorífico. – 4. Humedad. – 5. Cenizas y escorias. – 6. Azufre. – 7. Materias volátiles y coque. – 8. Combustibles sólidos. Origen de la hulla. – 9. Clasificación de las hullas. – 10. Lignito. –

11. La turba. – 12. La leña. – 13. Briquetas o aglomerados. – 14. Almacenado del carbón. – 15. Combustibles líquidos. El petróleo. – 16. Almacenado del petróleo. – 17. Combustibles gaseosos.

CAPITULO IV

Hogares 63

1. Definición. – 2. Clasificación de los hogares. – 3. Hogares para combustibles sólidos de carga a mano. Parrilla. – 4. Emparrillado de barrotes móviles. – 5. Puertas del hogar. – 6. Bóvedas. – 7. Altar. – 8. Parrilla para combustibles menudos. – 9. Conducción del fuego. – 10. Aire secundario. – 11. Limpieza del hogar. – 12. Causa del humo. – 13. Hogares mecánicos. – 14. Hogar de parrilla sin fin. – 15. Hogares de parrilla inclinada. – 16. Hogares de proyección. – 17. Hogares con cargador de empuje y de tornillo sin fin. – 18. Hogares de polvo de carbón. – 19. Preparación del carbón. – 20. Molinos. – 21. Quemadores. – 22. Ventajas de la combustión del carbón pulverizado sobre la combustión en parrillas. – 23. Hogares de petróleo y gas. – 24. Ventajas de la pulverización mecánica. – 25. Inconvenientes de la pulverización mecánica. – 26. Ventajas del empleo de combustibles líquidos. – 27. Hogares para quemar petróleo. – 28. Equipo para quemar petróleo. – 29. Bombas, filtros y cañerías. – 30. Calentador de petróleo. – 31. Filtros. – 32. Quemadores de gas.

CAPITULO V

Chimeneas y tiro 101

1. El tiro. – 2. Tiro natural. – 3. Tiro artificial. – 4. Tiro forzado. – 5. Tiro aspirado. – 6. Ventiladores. – 7. Depuradores de humos.

CAPITULO VI

Calderas 115

1. Definición. – 2. Superficie de calefacción. – 3. Producción horaria de vapor. – 4. Producción específica de vapor o vaporización específica. – 5. Cámara de agua. – 6. La cámara de vapor. – 7. La superficie de vaporización. – 8. Potencia de una caldera. – 9. Clasificación de las calderas. – 10. Calderas cilíndricas de gran volumen de agua. – 11. Tubos de fuego. – 12. Calderas con tubo de humo. – 13. Caldera tipo locomotora. – 14. Calderas verticales. – 15. Calderas de tubos de agua o acuotubulares. – 16. Caldera de circulación forzada. – 17. Calderas de paso forzado. – 18. Calderas para la recuperación del calor de escape.

CAPITULO VII

Accesorios de las calderas 149

1. Manómetros. – 2. Indicadores de nivel. – 3. Válvulas de segu-

ridad. – 4. Inyectores. – 5. Bombas. – 6. Regulador automático del nivel de agua en las calderas. – 7. Separadores de vapor. – 8. Separadores de aceite. – 9. Trampas de vapor. – 10. Tapón fusible. – 11. Sopladores de hollín y aparatos para eliminar las incrustaciones. – 12. Puertas y tapones de inspección y limpieza. Entrada de hombre. – 13. Economizadores. – 14. Sobrecalentador de vapor. – 15. Calentador de aire.

CAPITULO VIII

El agua de alimentación de las calderas. 179

1. Generalidades. – 2. La corrosión. – 3. Cómo evitar la corrosión. – 4. Desgasificación por vía química. – 5. Desgasificación por vía mecánica. – 6. Desgasificador Elliot. – 7. Desgasificador Weir. – 8. Prevención eléctrica de la corrosión. – 9. Empleo de inhibidores. – 10. Formación de incrustaciones. – 11. Dureza del agua. – 12. Formación de espuma y arrastre de agua.

CAPITULO IX

Manejo y cuidado de las calderas. 187

1. Generalidades. – 2. Puesta en condiciones de funcionamiento de una caldera nueva. – 3. Método de limpieza de una caldera nueva utilizando carbonato de sodio y soda cáustica. – 4. Frecuencia de la limpieza interior de una caldera. – 5. Conservación de las calderas para un largo período de inactividad. – 6. Cómo se purgan las calderas. – 7. Puesta en marcha de una caldera después de su limpieza. – 8. Como se prende el fuego en un hogar con emparrillado. – 9. Como se "apaga" una cladera. – 10. Corrosión interna de la caldera. – 11. Corrosión exterior de la caldera. – 12. Fisuras en la mampostería. – 13. Medidas que deben tomarse al bajar peligrosamente el nivel del agua. – 14. Excesivo nivel de agua en la caldera. – 15. Precauciones que deben tomarse al conducir una caldera con quemador de petróleo. – 16. Precauciones que deben tomarse al conducir una caldera con quemador de gas. – 17. Pruega hidráulica de la caldera.

Tablas. 205

PROLOGO A LA PRIMERA EDICION

En este pequeño tratado nos hemos propuesto estudiar las nociones esenciales relativas a la producción del vapor. Sería imposible comprender muchos de los fenómenos que tienen lugar durante el proceso de la conversión del agua en vapor, sin tener presente algunas nociones fundamentales de la física, que presentamos en la forma más simple y breve posible, a fin de no distraer mucho tiempo al lector que desea llegar prontamente a conocer el funcionamiento, conducción y mantenimiento de las calderas.

Antes de abordar el estudio propiamente dicho de las calderas, se hace un rápido estudio de la combusifon y de los combustibles, dando una noción elemental sobre el cálculo de la cantidad de aire necesaria para quemar un combustible de composición conocida. Luego se dedica todo un capítulo a estudiar detenidamente los distintos tipos de hogares de combustibles sólidos, incluidos los de carbón pulverizado y los hogares para petróleo y gases, sin olvidar la conducción y la limpieza de los mismos. Las chimeneas y los diferentes métodos de obtener el tiro son también objeto de otro capítulo.

En el capítulo VI se tratan con todo detalle, los tipos más importantes de calderas que se utilizan en las más diversas instalaciones donde se requiere vapor para la producción de potencia o para usos industriales.

Los accesorios de las calderas son elementos de importancia para "controlar" su funcionamiento, como así también para mantenerlas en un estado óptimo de trabajo, de ahí que se los estudie con la profundidad que exige ese tema.

Entre los accesorios que se describen en el capítulo VII se han incluido los sobrecalentadores de vapor y los recuperadores de calor, constituidos por el economizador y el precalentador de aire.

Finalmente en el último capítulo se trata un tema de importancia fundamental como es el manejo y cuidado de las calderas, sin omitir los métodos de limpieza interior y exterior de las mismas, las purgas, puesta en marcha, apagado, prevención de explosiones, prueba hidráulica, etc.

Hemos escrito este libro prescindiendo de fórmulas y deducciones matemáticas complicadas, que no reportan ningún beneficio al hombre práctico

que se encuentra el pie de la caldera. Aquel que por sus conocimientos de matemáticas, física y química desee profundizar este tema tan atrayente de la generación del vapor, encontrará tratados más profundos que el presente manual, con los que podrá satisfacer totalmente sus deseos de perfeccionamiento en la materia[1].

M.M.

1 Véase M. Mesny, *Generación del vapor*, Editorial Marymar, Buenos Aires, 1976.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.– FUERZA

Por experiencia sabemos que para mover un cuerpo debemos someterlo a una acción exterior llamada fuerza.

Cuando el cuerpo está quieto o en reposo y se le aplica una fuerza, su velocidad aumenta desde el valor cero hasta otro valor determinado. Si el cuerpo se está moviendo según cierta dirección y se le aplica una fuerza de sentido contrario al de su movimiento podremos disminuir su velocidad o también detenerlo. En cambio, si a un cuerpo que se está moviendo se le aplica una fuerza F que forme cierto ángulo con la dirección de su movimiento, la trayectoria de aquél se modifica, fig. 2-I.

Fig. 1-I. Al aplicar una fuerza a un cuerpo en reposo éste se mueve..

La unidad más común de medida de la fuerza es el kilogramo (kg), pudiendo expresarse también en gramos, toneladas, etcétera.

La intensidad de una fuerza se mide con una balanza o con un dinamómetro.

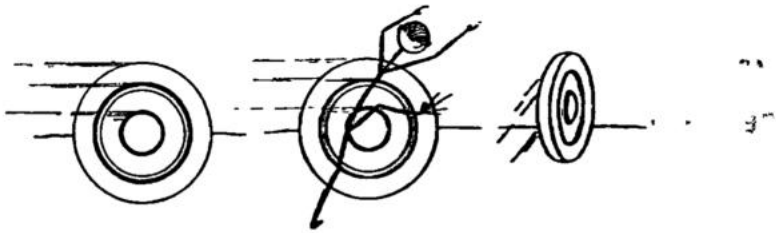


Fig. 2-I. La aplicación de una fuerza puede modificar la trayectoria del movimiento de un cuerpo.

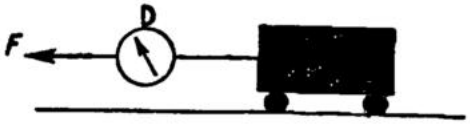
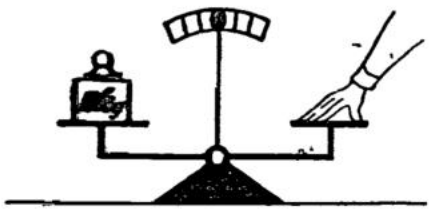


Fig. 3-I. Con el dinamómetro D se mide la intensidad de la fuerza F que mueve el carrito.

Fig. 4-I. La mano de la derecha está realizando un esfuerzo de 10 kg



2. PRESION EJERCIDA POR UNA FUERZA

Se define la presión p, como la fuerza que actúa sobre cada unidad de superficie. Generalmente se elige como unidad de fuerza al kilogramo (kg), y como unidad de superficie al centímetro cuadrado (cm^2). Si F (kg) es la fuerza que actúa sobre la superficie S (cm^2), entonces,

$$p = \frac{F\,(\text{kg})}{S\,(\text{cm}^2)}\ [\text{kg/cm}^2] \qquad (1\text{-}1)$$

Por ejemplo, si sobre un libro, fig. 5-I, que se encuentra sobre una mesa, se coloca una pesa de 10 kg diremos que la fuerza que actúa sobre el libro es de 10 kg. Ahora bien, si la superficie de la base de la pesa es igual a 20 cm^2, la fuerza que obra sobre cada cm^2, o sea la presión, valdrá $\frac{10\text{ kg}}{20\text{ cm}^2} = 0{,}5\text{ kg/cm}^2$ (0,5 kg por cm^2) o también 500 g/cm^2 o medio kilogramo por centímetro cuadrado. Admitiendo que el libro no tiene peso, la carga de 10 kg actuará sobre la mesa a través de la tapa de aquél, de manera que si la superficie S de este último es de 200 cm^2, la presión sobre la mesa será igual a:

$$p = \frac{F}{S} = \frac{10\text{ kg}}{200\text{ cm}^2} = 0{,}050\,\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Si el libro pesa 0,500 kg, entonces, la presión ejercida por el conjunto, pesa más libro, valdrá

$$p_1 = \frac{F + F_1}{S} = \frac{10 + 0{,}5}{200} = 0{,}0525 \text{ kg/cm}^2$$

Con F_1 se representa el peso del libro.

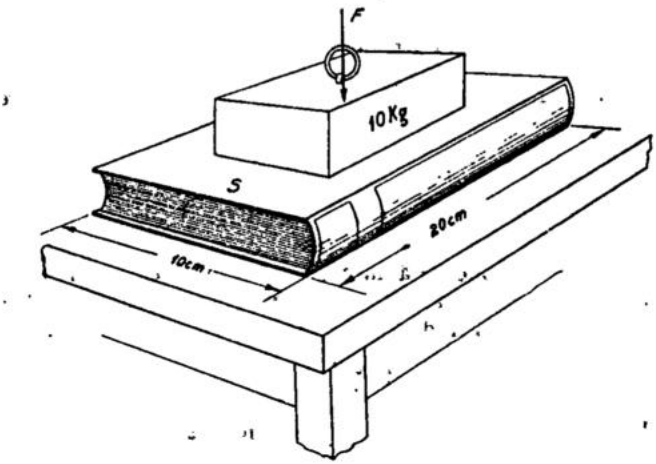


Fig. 5-I. Sobre el libro actúa la fuerza de 10 kg.

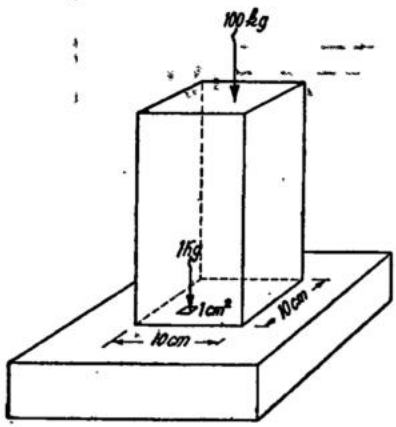


Fig. 6-I. La fuerza que actúa sobre cada cm^2 de la base de este cuerpo, o sea la presión que ejerce sobre su base, vale 1 kg/cm^2.

Fig. 7-I. El gas encerrado en este globo ejerce sobre cada cm^2 de su envoltura una fuerza que llámamos *presión del gas*.

La unidad de medida de la presión es el kg/cm^2 (kg por cm^2) o el kg/m^2 (kg por m^2).

Los gases y los líquidos también ejercen presión sobre la superficie de los recipientes que los contienen. Como en el caso anterior dicha presión se expresa en kg/cm^2 o en kg/m^2 y se mide con el aparato llamado manómetro.

Conocida la presión ejercida por un peso, o por un gas o un líquido, se plantea el problema de determinar la fuerza que origina dicha presión sobre una superficie determinada. De la Ec. 1-I se deduce que,

$$F = p\ (\text{kg/cm}^2) \times S\ (\text{cm}^2),\ [\text{kg}] \qquad (2\text{-}I)$$

o sea: *la fuerza es igual al producto de la presión por la superficie sobre la que se ejerce su acción.*

3. TRABAJO

Cuando una fuerza aplicada a un cuerpo es capaz de moverlo se dice que la fuerza realiza un trabajo. El trabajo se expresa como el producto de la intensidad de la fuerza en kg por la distancia recorrida por el cuerpo en metros (m).

Trabajo = Fuerza X Espacio

Nos referimos aquí únicamente al caso como el de la fig. 9-I en que la dirección de la fuerza coincide con la del movimiento del cuerpo. Cuando ello no es así el trabajo se define de otra manera.

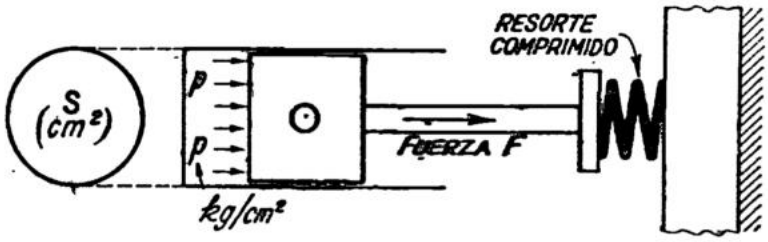


Fig. 8-I. La presión que ejerce el gas sobre el pistón se traduce en la fuerza F que comprime el resorte.

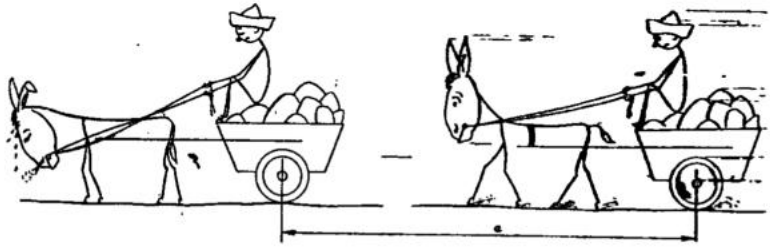


Fig. 9-I. La realización de un trabajo produce fatiga.

Llamando F a la fuerza, en kg, e al espacio recorrido, en m, y T al trabajo, se tendrá que:

$$T = F\,(\text{kg}) \times e\,(\text{m}),\ [\text{kgm}] \qquad (3\text{-I})$$

La unidad de medida del trabajo resulta del producto de la unidad kg por la unidad m, es decir, el kgm que se lee kilográmetro.

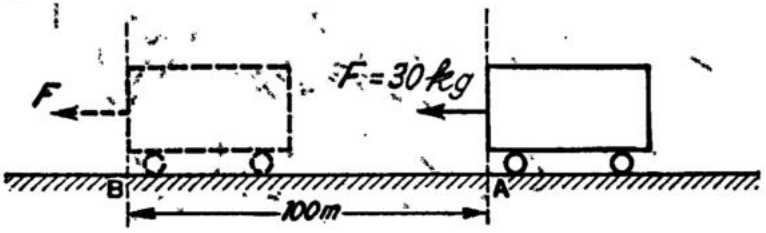


Fig. 10-I. Para mover el carrito desde A hasta B se ha desarrollado un trabajo igual a 30 (kg) × 100 (m) = 3.000 kgm.

4. POTENCIA

Llámase potencia al trabajo desarrollado en la unidad de tiempo. Si se realiza el trabajo T (kgm) en el tiempo t (s) expresado en segundo, la potencia será:

$$W = \frac{T\,(\text{kgm})}{t\,(\text{s})},\ [\text{kgm/s}] \qquad (4\text{-I})$$

La unidad más común, en la técnica, para medir la potencia es el caballo vapor (CV).

Se dice que la potencia de un motor es de 1 CV, cuando en 1 s puede realizar el trabajo de 75 kgm, o sea,

$$1\ \text{CV} = 75\ \text{kgm/s}$$

Un motor cuya potencia es de 100 CV, puede realizar un trabajo de

$$75\ (\text{kgm/s CV}) \times 100\ (\text{CV}) = 7{:}500\ (\text{kgm/s})$$

En el sistema inglés de unidades la potencia se expresa en HP, siendo este último igual a 33.000 pies libras/min, es decir,

$$1\ \text{HP} = 33.000\ \text{pies libras/min.}$$

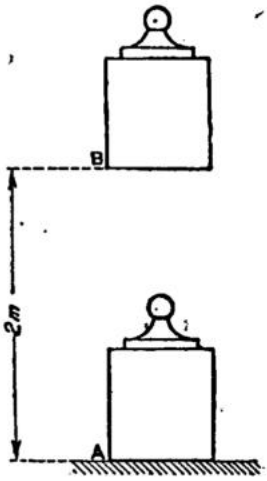


Fig. 11-I. Al levantar la pesa de 10 kg desde A hasta B, fue necesario desarrollar el trabajo de 10 (kg) × 2 (m) = = 20 kgm.

Mediante un cálculo sencillo puede determinarse la equivalencia entre el CV y el HP, de ello resulta que:

$$1\ \text{HP} = 1{,}014\ \text{CV}$$
$$1\ \text{CV} = 0{,}986\ \text{HP}$$

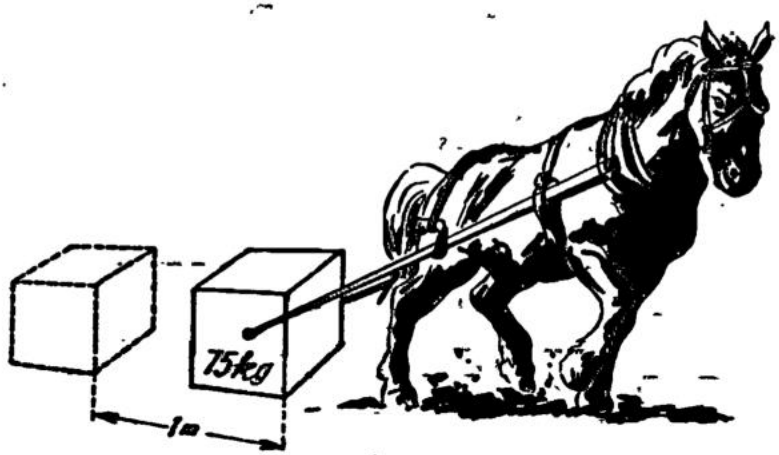


Fig. 12-I. Se dice que se desarrolla la potencia de 1 Caballo Vapor (1 CV), cuando se es capaz de mover en un segundo, 75 kg a lo largo de 1 metro.

Como se ve la unidad métrica de potencia, el CV, es más pequeña que la unidad inglesa, HP.

De ahí que un motor de 100 CV desarrollaría en la unidad de tiempo menos trabajo que uno de 100 HP contrariamente a la creencia general de que 1 CV = 1 HP.

En efecto, según lo visto más arriba,

$$100\ CV = 100 \times 75 = 7.500\ kgm/s$$
$$100\ HP = 100 \times 75 \times 1{,}014 = 7.605\ kgm/s$$

La potencia puede expresarse también en Watt (W) o en kilowatt (kW).

$$1\ W = 0{,}102\ kgm/s$$
$$1\ kW = 102\ kgm/s$$

Esto significa que un motor capaz de levantar un peso de 102 kg a 1 m de altura en 1 s, desarrolla la potencia de 1 kW.

Veamos ahora qué potencia desarrolla un hombre que levanta con un torno 30 kg a la altura de 10 m en 8 s.

Es trabajo gastado es de:

$$T = 30\ (kg) \times 10\ (m) = 300\ (kgm)$$

Como la potencia es el trabajo desarrollado por segundo, se tiene,

$$W = \frac{T\ (kgm)}{t\ (s)} = \frac{300\ (kgm)}{8\ (s)} = 37{,}5\ kgm/s.$$

o expresada en CV

$$W = \frac{37{,}5\ (kgm/s)}{75\ (kgm/s\ CV)} = 0{,}5\ CV$$

Otro problema interesante consiste en determinar la potencia necesaria para elevar, por ejemplo, 10,000 kg de agua por hora a 36 m de altura. Se supondrá el caso ideal en que no existen pérdidas de ninguna naturaleza.

Para elevar el agua considerada a la altura de 36 m se gastará el trabajo

$$T = 10.000\ (\text{kg}) \times 36\ (\text{m}) = 360.000\ (\text{kgm})$$

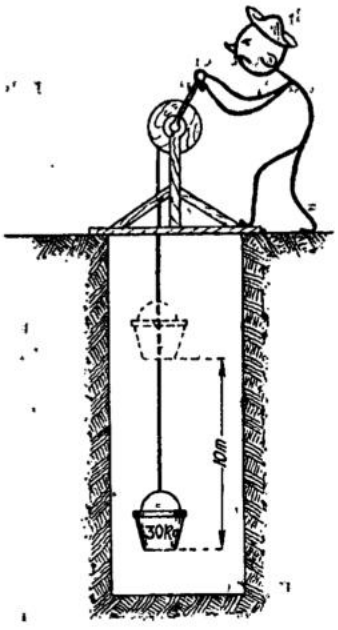


Fig. 13-I. Este hombre desarrolla un trabajo de 300 kgm.

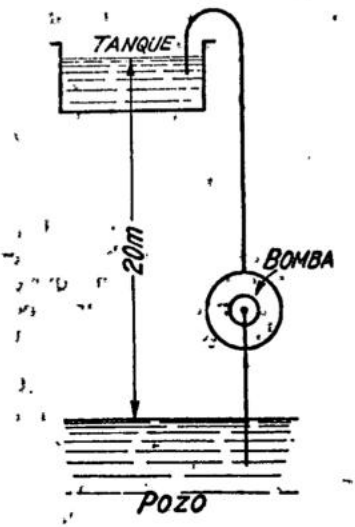


Fig. 14-I. Para elevar el agua es necesario gastar trabajo.

Dado que ese trabajo se realiza en el término de 1 hora, y recordando que 1 h = 3.600 s, resulta entonces que el trabajo por segundo, o sea la potencia necesaria para elevar el agua será de:

$$W = \frac{T\ (\text{kgm})}{t\ (\text{s})} = \frac{360.000\ (\text{kgm})}{3.600\ (\text{s})} = 100\ \text{kgm/s}$$

o también

$$W = \frac{100\ (\text{kgm/s})}{75\ (\text{kgm/s CV})} = 1{,}33\ \text{CV}$$

o

$$W = \frac{100\ (\text{kgm/s})}{102\ (\text{kgm/s kW})} = 0{,}98\ \text{kW}$$

5. EL CABALLO HORA

Cuando un motor de 1 CV de potencia funciona durante una hora, realiza el trabajo que se llama *caballo vapor hora* (CV h). Como en la hora hay 3.600 s, resultará que:

$$1 \text{ CV h} = 75 \left(\frac{\text{kgm}}{\text{s}}\right) \times 3.600 \text{ (s/h)} = 270.000 \text{ (kgm/h)} \qquad (5\text{-}1)$$

o

$$1 \text{ CV h} = 270.000 \text{ kgm/h}$$

El caballo hora es una unidad de trabajo y no de potencia.

El kilowatt hora también es una unidad de trabajo. Cuando un motor de 1 kW de potencia funciona durante una hora, realiza el trabajo llamado *kilowatt hora* (kW h). En forma similar a lo hecho más arriba:

$$1 \text{ kW h} = 102 \left(\frac{\text{kgm}}{\text{s}}\right) = 3.600 \text{ (s/h)} = 367.200 \text{ kgm/h}$$

6. TEMPERATURA

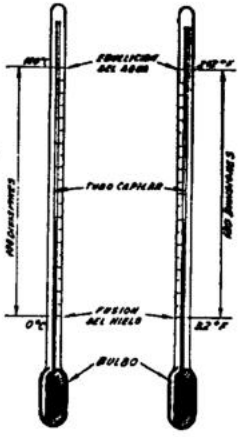
Si tocamos un pedazo de hielo y luego, por ejemplo, el agua que hemos preparado para nuestro baño, diremos que el hielo es más frío que esta última, o que el agua es más caliente que el hielo.

Si viniendo del exterior penetramos en una cámara frigorífica, diremos que en ella hace más frío que afuera; en cambio, si nos acercamos a un horno experimentaremos más calor.

Las sensaciones de calor y frío las percibimos mediante terminaciones nerviosas que existen en la superficie de la piel.

Cuando un cuerpo nos parece más caliente que otro decimos que su pemperatura es más elevada cuando nos parece más frío decimos que su temperatura es más baja. Si la intensidad de la sensación de calor aumenta, se dice que la temperatura se eleva.

El tacto permite apreciar diferencias de temperatura, pero es un medio poco exacto que no puede emplearse en la técnica. Además, esta forma de comprobar la temperatura de un cuerpo puede inducir a errores. Así, por ejemplo, si se sumerge la mano en agua tibia después de haberla tenido en agua muy caliente, aquélla nos parecerá fría, y en cambio nos parecerá caliente si antes hemos tenido en la mano un trozo de hielo.



Figs. 15 y 16-I. Termómetros de mercurio con escala centígrada y Fahrenheit, respectivamente.

En la técnica, para medir las temperaturas se emplea el termómetro.

El más conocido de los termómetros es el de mercurio, fig. 15-I; consta este instrumento de un tubo de vidrio de diámetro interior muy pequeño (tubo capilar), uno de cuyos extremos termina en una pequeña esfera o bulbo, mientras que el otro está cerrado. El bulbo y parte del tubo están lleno de mercurio, habiendo sido desalojado al aire de la parte restante del tubo.

Cuando se coloca el termómetro en un ambiente caliente, el mercurio se calienta y se dilata ascendiendo en el tubo.

Cada vez que el termómetro se ponga en contacto con cuerpos o se sumerja en fluidos a la misma temperatura, la columna mercurial ascenderá hasta la misma altura (hasta el mismo punto del tubo), indicando por lo tanto igual temperatura.

Sobre el tubo existe una escala que recibe el nombre de *escala termométrica*, y que se marca de la siguiente manera:

1. Se sumerge el termómetro en una mezcla de agua y hielo a la presión atmosférica. El mercurio bajará en el tubo hasta alcanzar una posición más allá de la cual no descenderá. Ese es el *punto de fusión del hielo* y se lo marca con 0° (el índice ° significa grado).
2. Luego se sumerge el termómetro en agua pura en ebullición a la presión atmosférica. El mercurio ascenderá hasta llegar a una altura donde permanecerá estacionado; ese es el *punto de ebullición del agua* que se marca con 100°.
3. Finalmente, la distancia que media entre el 0 y el 100 se divide en 100 partes iguales o 100°.

Esta escala recibe el nombre de *escala centígrada* o *escala Celsius*, cuyo símbolo es el ° C (grado centígrado o grado Celsius).

Existe también la *escala Fahrenheit*, fig. 16-I, que usan los pueblos de habla inglesa. En ella, el punto de fusión del hielo se indica con el número 32 y el de ebullición del agua con el número 212. El grado Fahrenheit se representa con el símbolo ° F.

En esta escala la distancia entre aquellos dos puntos extremos se divide en 180 partes iguales o sea 180°F.

La fig. 17-I permite comparar ambas escalas. Como se desprende de ella,

$$100° \text{ C} = (212 - 32) = 180° \text{ F}$$

o sea que

$$1° \text{ C} = 1{,}8° \text{ F}$$

7. CONVERSION DE GRADOS CENTIGRADOS EN GRADOS FAHRENHEIT Y VICEVERSA

Después de haber sumergido un termómetro con escala centígrada en agua, éste indica 50°C. ¿Qué temperatura indicará otro termómetro con escala Fahrenheit, sumergido en la misma agua?

Dado que 1 °C = 1,8 °F, como entre *A* y *B*, fig. 17-I, hay 50 °C, entonces 50 × 1,8 = 90 °F.

Esos son los grados Fahrenheit entre *A* y *B*, fig. 17-I, pero no la temperatura expresada en °F ya que frente a 0 °C la lectura del otro termómetro es de 32 °F. Por lo tanto la temperatura en grados Fahrenheit será igual a,

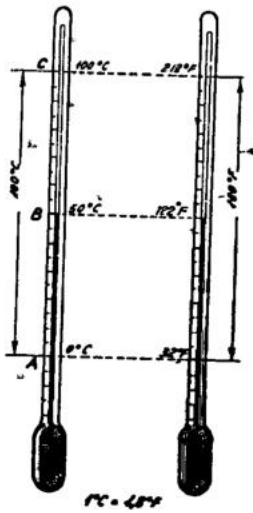


Fig. 17-I. Comparación entre las escalas centígrada y Fahrenheit.

$$90 + 32 = 122° \text{ F}$$

Para convertir grados centígrados en grados Fahrenheit, debe multiplicarse a la lectura en grados centígrados por 1,8 y sumarle después 32, es decir:

$$\text{Temp. en } ° \text{F} = \text{Temp. en } ° \text{C} \times 1{,}8 + 32 \qquad (6\text{-I})$$

En cambio, si se nos dice que el termómetro con escala Fahrenheit indicaba 122° F, para obtener la temperatura en ° C habrá que restarle 32 a aquel valor para encontrarse frente al 0° C, debiendo luego dividir el resultado de esa resta por 1,8, o sea, $(122 - 32) \div 1{,}8 = 50° \text{ C}$

Para convertir grados Fahrenheit en grados centígrados deberá restarse 32 a la lectura en grados Fahrenheit y dividir el resultado por 1,8, es decir:

$$\text{Temp. en } ° \text{C} = [\text{Temp. en } ° \text{F} - 32] \div 1{,}8 \qquad (7\text{-I})$$

8. PESO ESPECIFICO

Llámase **peso específico de un cuerpo** al peso de su unidad de volumen Tomando al kg como **unidad de peso y el** $\mathbf{m^3}$ (metro cúbico) como unidad de volumen, el peso específico **de una sustancia será** el peso de un cubo de 1 m de lado, fig. 18-I, de esa **sustancia**.

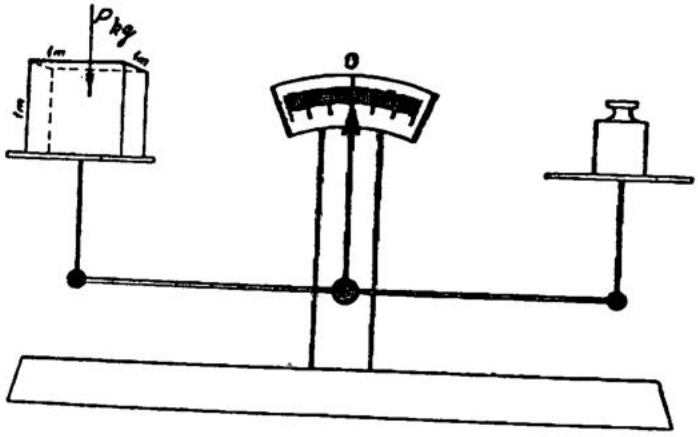


Fig. 18-I. El peso específico de un cuerpo es el peso de un cubo de 1 m de lado, de la misma sustancia que aquél.

CENTRO PROTECCIÓN DE MONTEVIDEO

La unidad con que se mide el peso específico es el kg/m^3 (kilogramo por metro cúbico). También puede expresarse en kg por decímetro cúbico (kg/dm^3) o en gramos por centímetro cúbico (g/cm^3).

El peso de 1 m^3 de gas es su peso específico.

El peso específico de los cuerpos varía con la temperatura y con la presión. Al calentar un cuerpo, éste se dilata, fig. 19-I, y en consecuencia un mismo peso de sustancia ocupa mayor volumen. o sea. que 1 m^3 del mismo pesa cada vez menos.

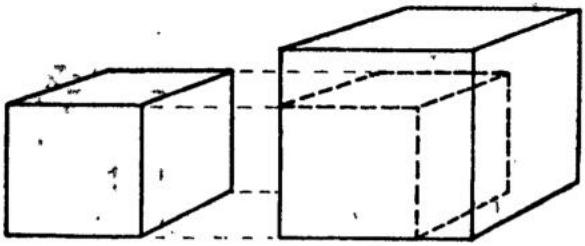


Fig. 19-I. Al ser calentado el cubo se dilata y su peso específico disminuye.

La variación de presión tiene muy poca influencia sobre el peso específico de los sólidos y líquidos, pero en cambio, influye apreciablemente sobre el peso específico de los gases que son muy compresibles.

Por ejemplo, en un recipiente indeformable de 1 m^3 de volumen se puede tener aire a la presión atmosférica y temperatura ambiente, en este caso el m^3 de aire pesará alrededor de 1,250 kg. En cambio, si mediante un compresor inyectamos aire hasta que la presión interior del tanque sea de 10 kg/cm^2 y la temperatura igual a la ambiente, el m^3 de aire pesará alrededor de 12,500 kg.

En el primer caso el peso específico del aire es de 1,250 kg/m^3 y en el segundo de 12,500 kg/m^3.

Al final del libro en la tabla 3, aparecen los pesos específicos de las sustancias más conocidas.

9. PRESION EJERCIDA POR UN GAS. PRESION ATMOSFERICA

El aire rodea a la tierra, extendiéndose la atmósfera entre 200 y 400 km de altura, y como aquél tiene peso ejercerá cierta fuerza sobre la superficie del suelo.

La fuerza que ejerce el aire sobre 1 cm^2 de la superficie terrestre recibe el nombre de *presión atmosférica*. Esa presión es igual al peso de una columna de aire de 1 cm^2 de base cuya altura es la de la capa atmosférica, fig. 21-I.

Una de las maneras de expresar la presión atmosférica es en kg/cm^2. Así, se dice que la presión atmosférica es igual a 1 kg/cm^2 u otro valor cualquiera.

El valor de la presión atmosférica no es constante, sino que varía de un

día a otro y aun de un instante a otro, de acuerdo con la acción de los fenómenos atmosféricos, y también de un punto a otro de la tierra.

La presión atmosférica puede medirse con un aparato muy sencillo llamado barómetro.

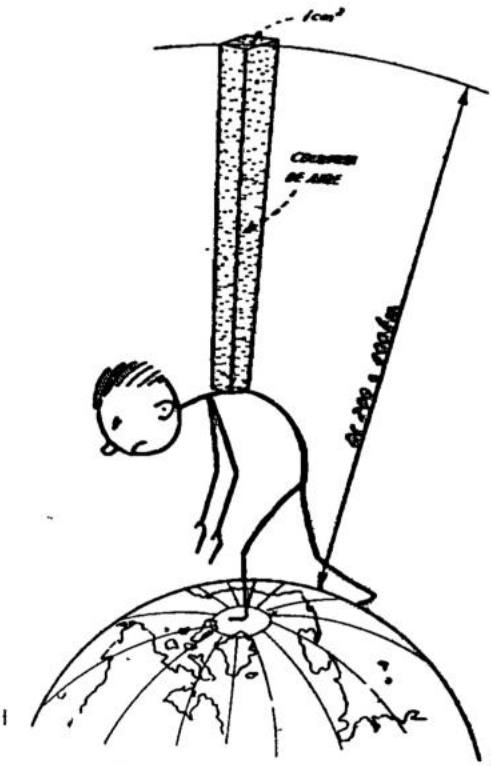


Fig. 20-I. El aire ejerce presión sobre la superficie de los cuerpos.

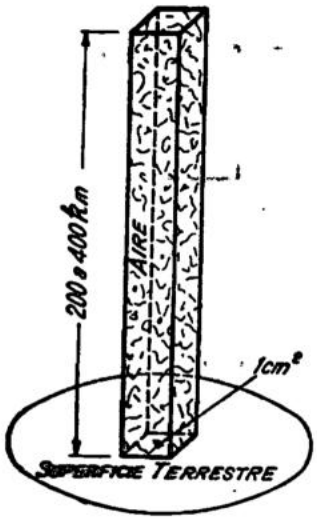


Fig. 21-I. La presión atmosférica es igual al peso de una columna de aire de 1 cm² de base y de altura igual al espesor de la capa atmosférica.

Llenemos de mercurio un tubo de vidrio de 1 m de longitud como el de la fig. 22-I, y tapando con un dedo su extremo abierto sumerjámoslo en un recipiente que contenga también mercurio, de modo que quede en posición vertical. Al retirar el dedo, el mercurio bajará hasta detenerse a cierta altura en el tubo. El nivel del mercurio en el tubo se encontrará distante *h* del nivel del que se halla en el recipiente.

¿Cómo se explica que el tubo no se vacíe totalmente? ¿Qué fuerza es la que mantiene a esa columna? Pues, es precisamente la presión atmosférica que actúa sobre la superficie del mercurio.

Cuando dimos vuelta el tubo, éste estaba lleno de mercurio y como al descender este cuerpo, no penetra aire en el tubo, en el espacio *A* existe el vacío, es decir hay ausencia de todo, o también, allí no hay presión.

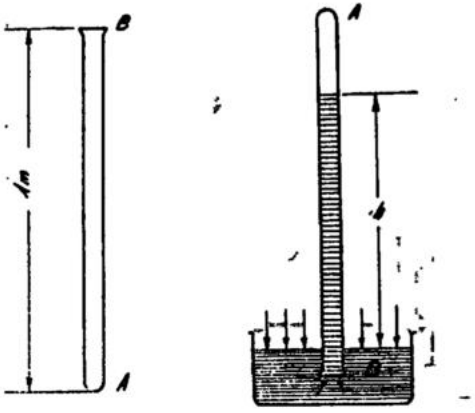


Fig. 22-I. Al retirar el dedo que obturaba el extremo B del tubo, permanece en éste una altura *h* de mercurio.

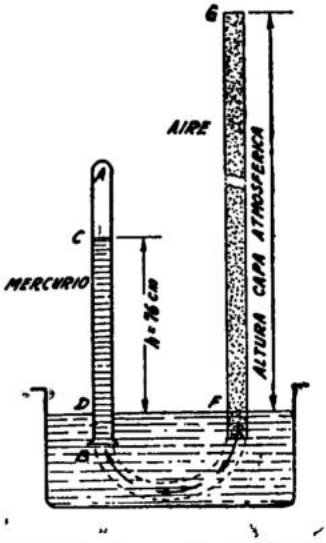


Fig. 23-I. La presión atmosférica es la que mantiene a la columna de mercurio.

Como el extremo *B* del tubo está abierto, para que el mercurio no baje es necesario que en *B* actúe hacia arriba una fuerza igual al peso del mercurio contenido en el tubo. Esa fuerza proviene en este caso únicamente de la atmósfera.

El peso de la columna de mercurio *CD*, fig. 23-I, está equilibrado por el peso de una columna de aire *FG*. Si hemos elegido un tubo cuya sección es de 1 cm^2 y si *h* es la altura del mercurio, el peso del mismo en el tubo será igual a:

$$1\ [cm^2] \times h\ [cm] \times \text{peso esp. del mercurio, } [kg/cm^3] \qquad (8\text{-I})$$

que debe ser igual al peso de la columna de aire, también de 1 cm^2 de sección y de altura igual a la capa atmosférica. Pero como el peso de esa columna de aire se ejerce sobre 1 cm^2 se trata de la presión atmosférica.

Por lo tanto, conocido el peso de la columna de mercurio de 1 cm^2 de sección, éste será igual al valor de la presión atmosférica. Siendo el peso específico del mercurio igual a 13,600 kg/dm^3 o 0,0136 kg/cm^3, el peso de la columna citada, según la expresión (8-I) valdrá,

$$1 \times h \times 0{,}0136 = h \times 0{,}0136 \ \text{kg} \qquad (9\text{-I})$$

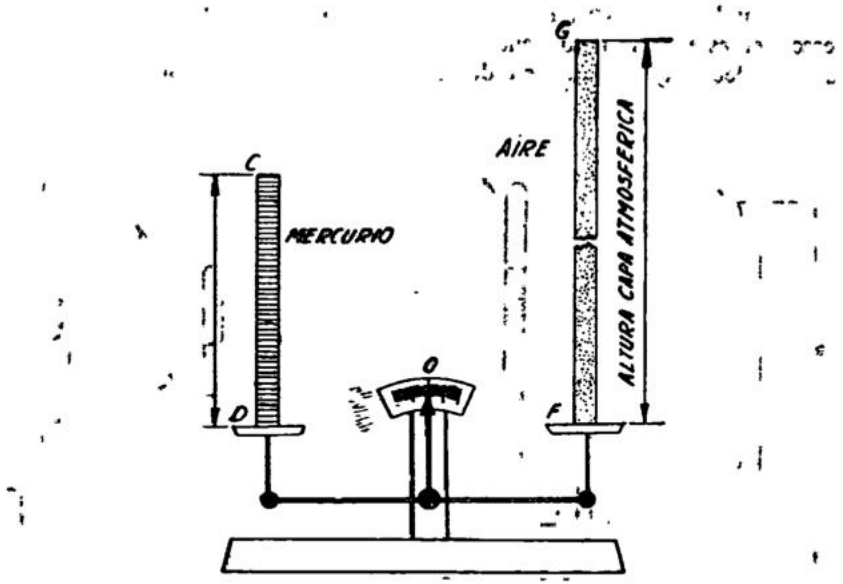


Fig. 24-I. Si se pudiesen colocar a las dos columnas de la fig. 22-I. en los platillos de una balanza, se vería que ambas tienen el mismo peso.

Por ejemplo, un día cualquiera realizamos esta experiencia y verificamos que $h = 76$ cm, ese día la presión atmosférica será de

$$P_{at} = 76 \times 0{,}0136 = 1{,}033 \text{ kg}$$

que obra sobre 1 cm^2, lo que se expresa así:

$$P_{at} = 1{,}033 \text{ kg/cm}^2$$

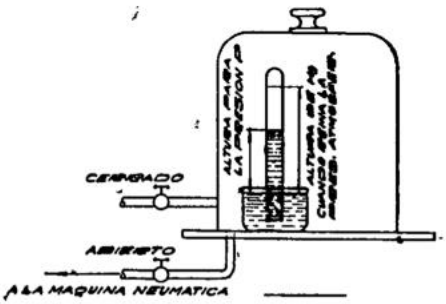


Fig. 25-I. A medida que se extrae el aire de la campana se ve descender el mercurio en el tubo.

Que es la presión atmosférica la que sostiene a esa columna puede demostrarse con esta experiencia sencilla. Tapemos el barómetro con una campana de vidrio conectada a una máquina neumática, fig. 25-I, es decir, una máquina capaz de extraer el aire de esa campana.

A medida que se extrae el aire se ve descender el mercurio en el tubo hasta que al extraerse la última partícula de aire, o sea cuando la presión en la campana es

nula, la altura de la columna de mercurio valdrá cero. En cada instante la presión del aire en la campana está dada por la altura del mercurio en el barómetro. Así, cuando $h = 10$ cm, la presión del aire sería según la expresión (9-I) igual a:

$$10 \times 0{,}0136 = 0{,}136 \text{ kg/cm}^2$$

Si ahora, en vez de mercurio se utiliza agua, el tubo tendrá que ser más largo que el anterior ya que el peso específico del agua es mucho menor que el del mercurio, fig. 26-I.

En efecto, el día que la presión atmosférica valga 1,033 kg/cm^2, el peso de la columna de agua de 1 cm^2 de sección deberá pesar 1,033 kg, y para que ello se cumpla debe ser:

$$H \times 1 \text{ cm}^2 \times \text{peso esp. del agua} = 1{,}033 \text{ kg}$$

y como el peso específico del agua es de 1 kg/dm^3 o 0,001 kg/cm^3, la ecuación anterior se escribirá así:

$$H \times 1 \text{ cm}^2 \times 0{,}001 \text{ kg/cm}^3 = 1{,}033 \text{ kg}$$

en la cual H debe ser igual a 1.033 cm, pues así se cumple que,

$$1{,}033 \times 1 \times 0{,}001 = 1{,}033$$

Entonees:

$$H = 1.033 \text{ cm} = 10{,}33 \text{ m}$$

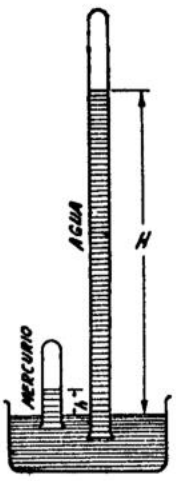


Fig. 26-I. Comparación entre el barómetro de mercurio y el de agua.

Conviene tener presente que:

$$1 \textit{ atmósfera} = \textit{760 mm de columna de mercurio} = \textit{10,33 m de columna de agua} \quad (10\text{-I})$$

En la Tabla 4, al final del libro, puede apreciarse la variación de la presión atmosférica en función de la altitud.

10. PRESION ABSOLUTA

Sea un recipiente A, fig. 27-I, colocado dentro de otro B, ambos llenos de un gas a cierta presión p_g. Si ahora con la máquina neumática extraemos el gas de B, para que el que se encuentre en A no escape, será necesario tapar su orificio con una lámina que supondremos sin peso y que cargaremos con una pesa P, figura 28-I.

Si cuando existe el vacío en B, el peso de la carga que equilibra al esfuerzo que hace el gas contenido en A para salir por el orificio de sección S cm^2 vale P kg, la presión del gas en A, que se llama *presión absoluta*, será igual a:

$$p_{g\,abs} = \frac{P}{S}, \text{ kg/cm}^2 \quad (11\text{-I})$$

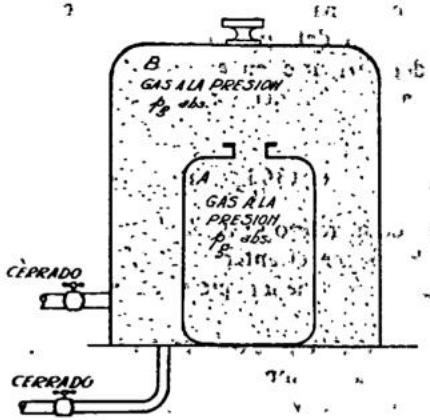


Fig. 27-I. Ambos recipientes están llenos de gas a la misma presión.

11. PRESION EFECTIVA

Abriendo el recipiente B penetrará aire en él, aire que se encuentra a la presión atmosférica. Esa presión también se ejercerá sobre el cierre del vaso A, fig. 29-I, de tal manera que el peso justo necesario para que no escape el gas ya no valdrá P kg sino que será un peso P' de menor valor.

Diremos ahora que la *presión efectiva* del gas contenido en A es igual a,

$$p_{g\,efec} = \frac{P'}{S} \tag{12-I}$$

La diferencia entre la presión absoluta y efectiva de un gas es precisamente igual a la presión atmosférica.

La presión absoluta del gas en A no ha variado, puesto que ni le sacamos ni le agregamos gas, y supusimos además invariable a la temperatura.

De acuerdo con la fig. 29-I.

$$p_{g\,abs} = \frac{P'}{S} + p_{at} \tag{13-I}$$

pero como

$$\frac{P'}{S} = p_{g\,efec} \tag{14-I}$$

se tiene que:

para obtener la presión absoluta de un gas se le suma a su presión efectiva, la presión atmosférica, y

para obtener la presión efectiva de un gas se le resta a su presión absoluta la presión atmosférica.

En resumen: cuando la presión que reina en un recinto se la refiere a la

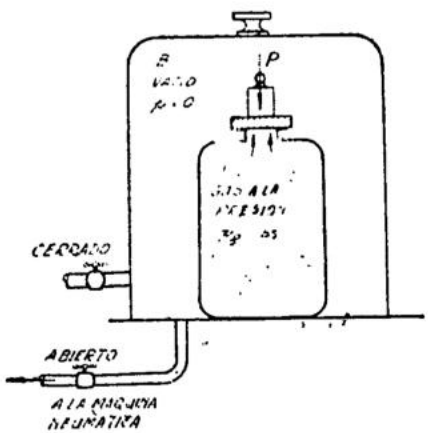


Fig. 28-I. Cuando reina el vacío alrededor del frasco A, debe cargarse su tapa con una pesa P para que no salga el gas que contiene.

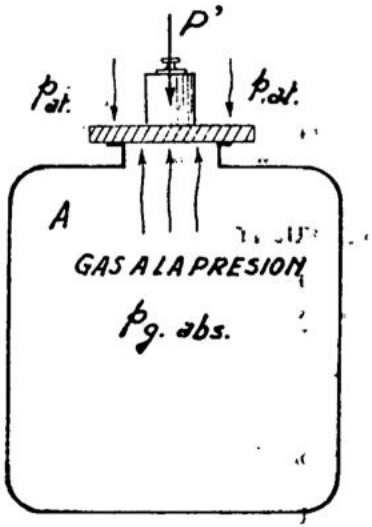


Fig. 29-I. Cuando actúa la presión atmosférica alrededor del frasco, el peso P' con que debe cargarse su tapa para que no escape el gas es menor que en el caso anterior.

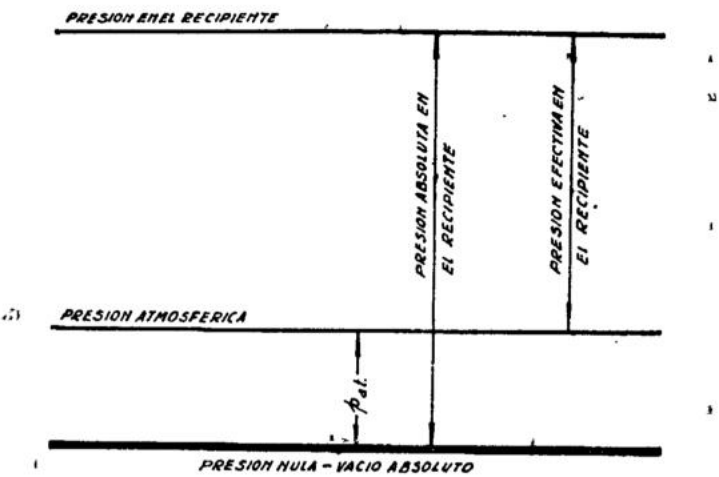


Fig. 30-I. Comparación gráfica entre presión absoluta y presión efectiva.

presión cero, o sea al *vacío absoluto*, se habla de *presión absoluta*; en cambio, cuando se la refiere a la *presión atmosférica* se habla de *presión efectiva*.

El gráfico de la fig. 30-I, permite darse cuenta rápidamente de esta cuestión. Al decir que en una caldera reina la presión de 10 kg/cm² absolutos, significa que con respecto a un recipiente donde existe el vacío la presión en la caldera es de 10 kg/cm², mientras que con relación a otro donde existe la presión atmosférica, la presión en la caldera es de $10 - 1 = 9$ kg/cm².

12. FUENTE DE CALOR

Todo cuerpo capaz de calentar a otro (elevar su temperatura), se lo considera una fuente de calor.

El calor pasa por sí solo (naturalmente) de un punto a otro de menor temperatura. Así, cuando dos cuerpos a distintas temperaturas, son puestos uno en presencia del otro, el más caliente se enfría y el más frío se calienta. El primero pierde calor mientras que el segundo gana calor. Según la definición anterior, el cuerpo caliente es con relación al cuerpo frío una fuente de calor.

Una reacción química, tal como la combustión de un combustible, constituye también una fuente de calor, pues el calor a elevada temperatura que ella desarrolla es capaz de elevar la temperatura de los cuerpos vecinos.

En el conjunto caldera-hogar, la fuente de calor se encuentra en el hogar y está constituída por la combustión del carbón, de la leña o del petróleo, por las llamas y los gases calientes, mientras que la fuente fría está formada por el agua y el vapor que llenan la caldera, ambos a la misma temperatura, menor que la del hogar.

13. CANTIDAD DE CALOR

Si se acerca un cuerpo a una fuente de calor pueden observarse los siguientes fenómenos:

a) o la elevación de su temperatura, es decir su calentamiento.

b) o su fusión; cambio de estado a temperatura constante,

c) o su vaporización; cambio de estado también a temperatura constante, todos ellos motivados por la absorción de calor.

Existe un cuerpo muy conocido con el cual pueden observarse estos tres fenómenos, cuando se lo acerca a una fuente de calor a temperatura suficientemente elevada.

Acerquemos a un mechero un recipiente conteniendo una mezcla de agua y hielo a 0° C, en la que habremos sumergido un termómetro para medir la temperatura, fig. 31-I.

El primer fenómeno que se observa, es que la cantidad de hielo disminuye a medida que el recipiente recibe calor, manteniéndose constante e igual a cero la temperatura mientras exista hielo en la mezcla; se trata del fenómeno de *fusión*. Puede decirse que el hielo ha fundido como consecuencia del calor que absorbió.

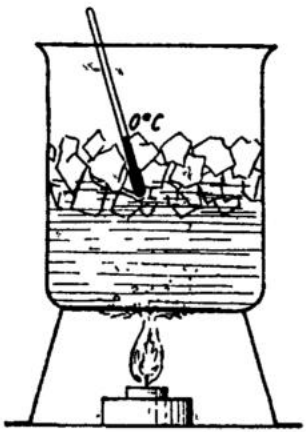


Fig. 31-I. A medida que el recipiente recibe calor se ve disminuir la cantidad de hielo: este es un fenómeno de fusión.

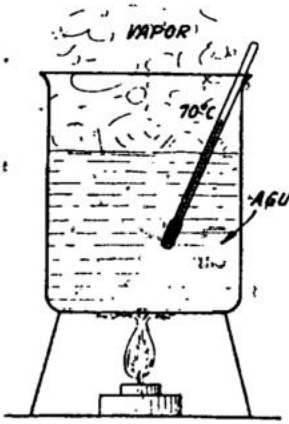


Fig. 32-I. Cuando ha desaparecido el hielo, el calor que recibe el agua eleva su temperatura.

Al desaparecer la última partícula de hielo la temperatura comenzará a elevarse hasta alcanzar los 100 °C. Durante este período el calor absorbido por el agua provoca su elevación de temperatura; se trata entonces de un *calentamiento*.

Finalmente, si se deja aún el recipiente sobre el mechero, podrá comprobarse que la columna mercurial permanece estacionaria frente a la marca 100 °C, pero que el agua hierve desprendiéndose vapores de su superficie. Ahora, el calor absorbido, sirvió para hacer cambiar el estado del agua; ésta pasó del *estado líquido* al *estado de vapor*.

En todos los casos, los fenómenos observados han sido consecuencia de la absorción de calor. Cualquiera de esos efectos hubiese podido adoptarse para definir a las cantidades de calor. Los hombres de ciencia eligieron, de una manera totalmente arbitraria, al calentamiento del agua, para definir a las cantidades de calor

La unidad de calor llamada *pequeña caloría* (cal), es la cantidad de calor que debe suministrarse a 1 gramo de agua para elevar su temperatura de 15 a 16 °C; y *caloría grande*, o *kilocaloría* (kcal, Cal), es una unidad mil veces más grade, que representa al calor necesario para calentar de 15 a 16 °C. a 1 kg de agua.

Si 1 kg de agua se calienta desde 20°C hasta 60°C, habrá recibido una

cantidad de calor igual a 40 Cal (40 kcal). En cambio, si se hubiese enfriado a ese kilogramo de agua desde 60 °C hasta 20 °C, se diría que se le sustrajeron 40 Cal.

Como 1 kg de agua tiene 1.000 g, las calorías pequeñas necesarias para realizar aquel calentamiento hubiesen sido igual a 40.000, lo que por otra parte surge inmediatamente de las definiciones anteriores sobre las calorías.

Dos cantidades de calor se consideran iguales, si son capaces de calentar en un mismo número de grados, a la misma cantidad de agua a partir de la misma temperatura inicial.

En Inglaterra y EE.UU. para medir cantidades de calor se emplea la unidad B.T.U. (British Thermal Unit) que es igual a la cantidad de calor que debe suministrarse a 1 libra de agua para calentarla en 1 ° F o extraerle para enfriarla en 1 ° F.

Entre la caloría grande y el B.T.U. existe la siguiente relación:

$$1 \text{ Cal} = 3{,}959 \text{ B.T.U.}$$

$$1 \text{ B.T.U.} = 0{,}252 \text{ Cal}$$

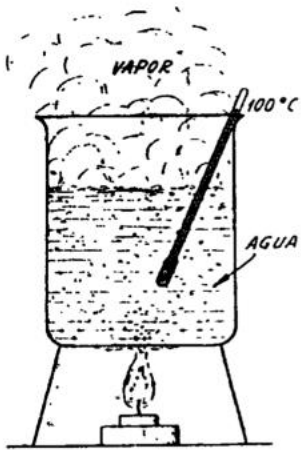


Fig. 33-I. Mientras el agua hierve se observa que la altura de la columna mercurial permanece estacionada frente a la marca 100° C.

14. CALOR ESPECIFICO

Se llama **calor específico** de un cuerpo a la cantidad de calor que debe suministrarse a 1 kg del mismo para elevar su temperatura en 1 ° C.

Como es fácil ver, de acuerdo con la definición de la caloría, el calor específico del agua es igual a 1 entre 15 y 16° C. Prácticamente es también igual a 1 entre 0 y 60° C.

El calor específico no es el mismo para todas las sustancias, lo que puede comprobarse tomando cantidades por ejemplo de hierro, plomo y hielo iguales a 1 kg. Para elevar la temperatura de esos cuerpos en el mismo número de grados serán necesarias cantidades distintas de calor.

En las Tablas 5, 6 y 7, al final del libro, se dan los calores específicos de algunas sustancias.

Para calcular la cantidad de calor necesaria para elevar en un cierto número de grados la temperatura de un determinado cuerpo, es necesario multiplicar el número que expresa al peso del cuerpo en kg por el que expresa a la elevación de la temperatura en grados y este producto multiplicarlo por calor específico de la sustancia de que está hecho aquél.

Por ejemplo, si se quiere calentar 3 kg de hierro desde 20 hasta 50° C, la cantidad de calor que habrá que suministrarle será igual a

$$5 \text{ kg} \times (50 - 20)^{\circ} \text{ C} \times 0{,}114 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^{\circ} \text{ C}} = 17{,}1 \text{ kcal}$$

Si en cambio, se trata de calentar 10 kg de agua entre 0 y 80° C, el calor necesario para esa operación valdrá.

$$10 \times (80 - 0) \times 1 = 800 \text{ kcal}$$

Tratándose de gases, la cantidad de calor necesaria para elevar en 1° C la temperatura de 1 kg de un determinado gás, es decir su calor específico, depende de la forma como se realiza el suministro de calor.

Los casos más simples son los de calentamiento a *volumen constante* y a *presión constante*.

La primera forma de calentamiento se obtiene encerrando el gas en un recipiente que no experimente ninguna deformación cuando se lo calienta, y la segunda, encerrando el gas en un recipiente semejante al de la fig. 44-I, provisto de un pistón cargado con un peso P que puede deslizarse a medida que el volumen del gas aumenta como consecuencia de la absorción de calor.

Admitiendo que el pistón y su vástago no tienen peso, la fuerza que obra sobre el gas es igual a P kg, y la presión efectiva, según lo visto en el apartado 11 valdrá $p = P/S$. Como P y S no varían, p tampoco variará, y entonces el gas será calentado a presión constante.

En las Tablas 6 y 7 del Apéndice, están consignados los calores específicos de los gases.

15. TRANSMISION DEL CALOR

Al hablar de fuente de calor ya se dijo que el calor pasa desde un cuerpo de mayor temperatura a otro de menor temperatura, es decir, tiene lugar el fenómeno llamado *transmisión del calor*.

Veamos ahora las distintas formas como se transmite el calor.

a) *Conducción.* – Introduciendo en el fuego el extremo de una barra de hierro tal como puede verse en la fig. 34-I, se notará, después de cierto tiempo, que el otro extremo comienza a calentarse, y si la barra no es suficientemente larga será necesario utilizar una tenaza para sostenerla, pues de lo contrario la temperatura adquirida por el otro extremo sería suficiente para quemar la mano del operario. Se observa también que la temperatura disminuye desde el extremo ubicado en el fuego hasta el otro, es decir, existe *diferencia de temperatura*, que es la condición indispensable para que haya paso de calor.

En la barra, el calor fue pasando sucesivamente desde un punto hasta el vecino en contacto íntimo con aquél; se entiende que siempre desde el de mayor temperatura al de menor temperatura.

La forma como se transmite el calor en la barra de hierro recibe el nombre de *conducción*.

b) *Conveccion.* – Si la barra anterior se saca del fuego y se acerca a ella la mano derecha, colocándola en la posición indicada en la fig. 35-I, se experimentará una sensación de calor. ¿Cómo llega el calor hasta la mano?

Entre la barra y la mano existe una capa de aire, al principio a temperatura uniforme. El extremo caliente de la barra calienta el aire que se encuentra en contacto directo con él, mediante el conocido mecanismo de la conducción.

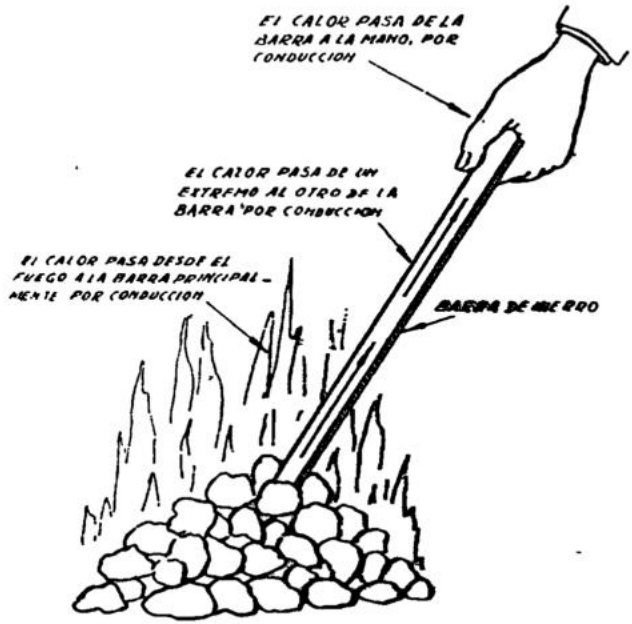


Fig. 34-I. El calor se transmite hasta la mano, a través de la barra de hierro por conducción.

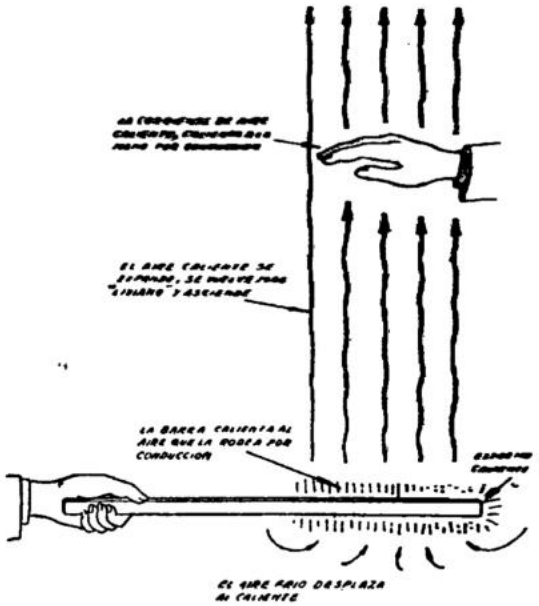


Fig. 35-I. La mano de arriba se caliente principalmente por convección, y la de abájo por conducción.

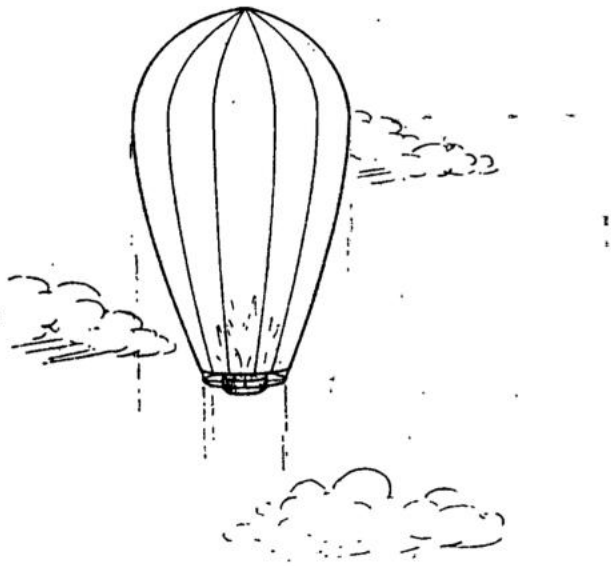


Fig. 36-I. El globo asciende porque el aire caliente que contiene tiene menor peso específico (es más "liviano") que el del exterior.

Al calentarse, el aire se vuelve *más liviano* (disminuye su peso específico) y asciende, tal como ocurre con esos globos de papel de aire caliente, que se utilizan en ciertas festividades del año.

El lugar que deja libre el aire caliente es ocupado por aire más frío y *más pesado* que a su vez se calienta, repitiéndose el ciclo anterior. En esa forma se establece una corriente ascendente de aire caliente, que actúa como vehículo que transporta el calor desde el hierro hasta la mano.

Esa corriente recibe el nombre de *corriente convectiva*, y esa forma de transmitirse el calor se conoce como *transmisión por convección*.

El calor también se transmite por convección en el seno de un líquido. Si el vaso de la figura 37-I, lleno de agua fría, se calienta por su base, el agua de la parte más baja se calentará más rapidamente que la de la parte superior, haciéndose así *más liviana*, menos densa que la restante, ascendiendo en el vaso como lo haría un corcho que hubiésemos sumergido y liberado en un momento dado. Por el contrario, el agua más fría descenderá para ocupar el lugar dejado por la que se desplaza hacia arriba. Se establecen así las corrientes convectivas que pueden observarse con nitidez si se mezcla un poco de aserrín muy fino con el agua.

El tiro natural que se establece en las chimeneas, proporciona un ejemplo clásico de corrientes convectivas en el seno de un gas, fig. 38-I.

c) *Radiación.* – Coloquemos el hierro al rojo, recién sacado de la fragua, en la posición que indica la fig. 39-I, y acerquemos al mismo nuestra mano derecha. Tal como están dispuestos el hierro y la mano, el calor no puede llegar hasta ésta por convección ya que el movimiento del aire caliente se hace hacia arriba y no horizontalmente hacia los costados. Sin embargo, la mano recibe.

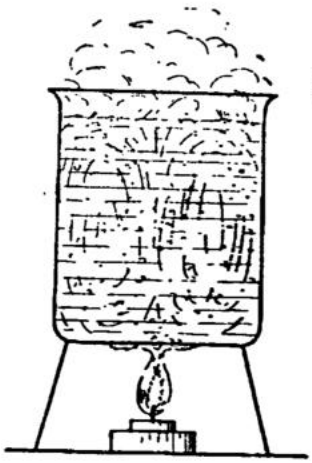


Fig. 37-I. Corrientes convectivas en el seno de un líquido calentado.

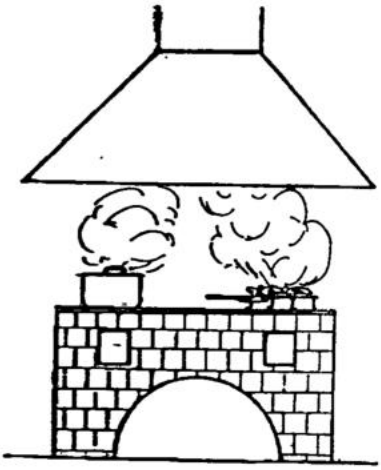


Fig. 38-I. Ejemplo clásico de corriente convectiva.

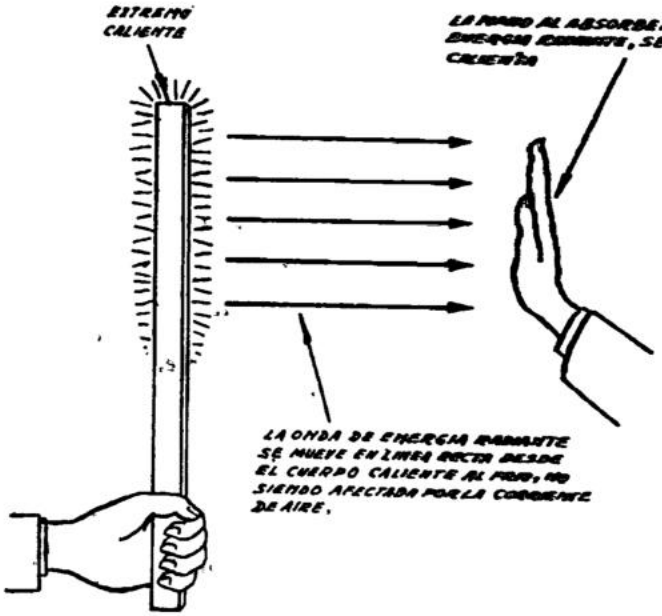


Fig. 39-I. El calor llega a la mano por radiación.

calor y se calienta; esta forma de transmitirse el calor que no es ni conducción ni convección recibe el nombre de *radiación*.

Para transmitirse por radiación, el calor no necesita de ningún *conductor material*. En efecto, es lo que ocurre con las lámparas de iluminación por

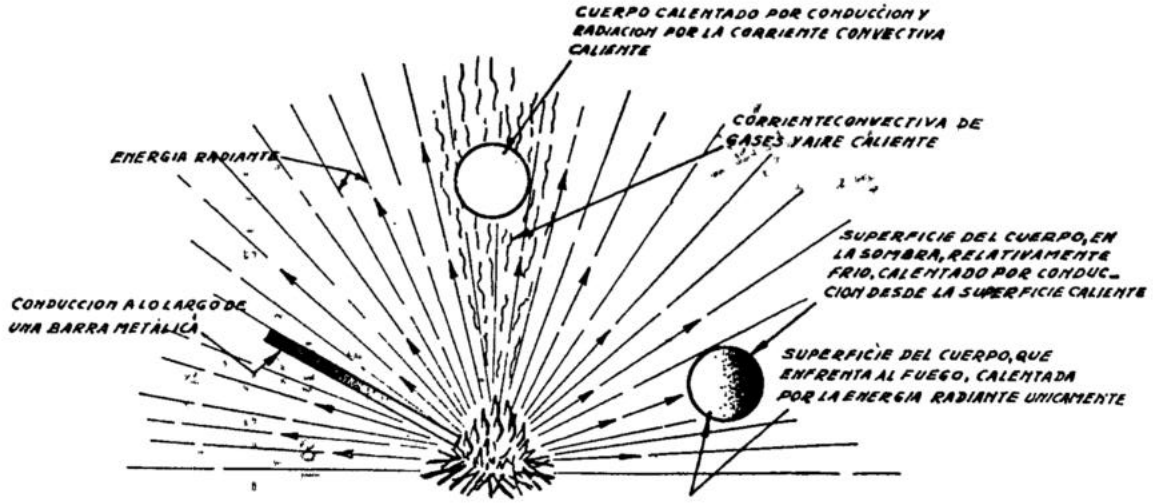


Fig. 40-I. Ejemplos de las tres formas de la transmisión del calor.

CENTRO PROTECCION CHOFERES DE MONTEVIDEO

incandescencia cuyo vidrio se calienta con el calor que *irradia* su filamento a pesar de que en la ampolla existe el vacío.

El calor que recibe la tierra llega desde el sol también por radiación, pues como se sabe, la capa de aire que rodea a la tierra se extiende hasta unos pocos kilómetros, más allá de los cuales existe el vacío y zonas muy frías.

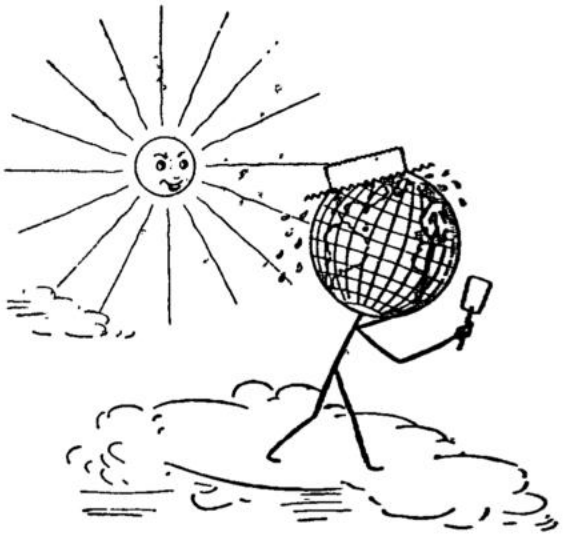


Fig. 41-1. El sol calienta a la tierra por radiación.

16. CONDUCTIBILIDAD TERMICA

Se vio que al poner en el fuego una barra de hierro, al poco tiempo toda su longitud aumenta de temperatura, pudiendo adquirir el otro extremo una temperatura tan elevada que sea necesario sostenerla mediante una tenaza para no quemarse la mano. En cambio, si se toma un pedazo de madera de igual longitud y seccion que la de la barra de hierro podrá estar ardiendo uno de sus extremos sin que el otro se caliente en forma apreciable. Esto se interpreta diciendo que el hierro conduce mejor el calor que la madera, o sea, que es un cuerpo *mejor conductor del calor*, o también, que el hierro es un buen *conductor del calor* mientras que la madera es un ***mal conductor del calor***.

La cantidad de calor que puede pasar a través de una pared, en un tiempo dado depende:

a) *de la superficie de su cara expuesta al calor*: pasa más calor, en el mismo tiempo, a través de una pared de 10 m^2 de superficie que a través de otra de igual material e igual espesor pero de solo 1 m^2 de superficie.

b) *del material con que está construída la pared*: pasa menos calor, en el mismo tiempo, a través de una plancha de amianto que a través de una de cobre del mismo espesor, e igual superficie;

c) *del espesor de la pared*: pasa más calor, en el mismo tiempo, a través de una pared de 1 cm de espesor que a través de otra del mismo material de igual superficie, pero de 10 cm de espesor.

d) *de la diferencia de temperatura que existe entre ambas caras de la pared*: así, a través de una pared de un material y espesor dados pasará más calor en 1 hora cuando una de sus caras tenga 100° C y la otra 0° C, que cuando una tenga 100° C y la otra 80° C. Si las dos tuviesen 100° C no pasaría calor.

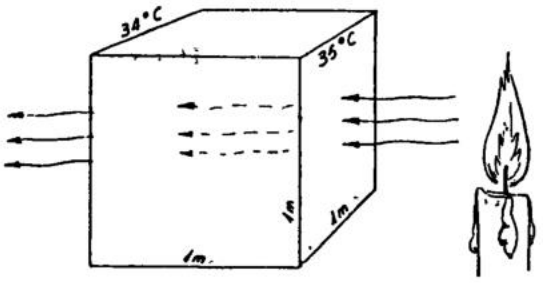


Fig. 42-I. La conductibilidad térmica de esta sustancia quedaría establecida midiendo la cantidad de calor que la atraviesa en 1 hora.

La facilidad o dificultad con que una sustancia *transmite el calor* o *se deja atravesar por el calor* se expresa mediante su *conductibilidad térmica*, definiéndosela como a la cantidad de calor, en kilocalorías, que pasa en 1 hora a través de una pared construída con esa sustancia, cuya cara tenga 1 m^2 de superficie, su espesor sea igual a 1 m, cuando la diferencia de temperatura entre sus dos caras es de 1° C.

La conductibilidad térmica varía de una sustancia a otra, y para una misma sustancia depende de la temperatura, de su peso específico y de su humedad.

La conductibilidad térmica de diversas sustancias figuran en la Tabla 8 del Apéndice.

17. DILATACION DE LOS CUERPOS POR EL CALOR

Al acercar un cuerpo a una fuente de calor pueden observarse varios fenómenos. En general se eleva su temperatura, y la mayoría de sus propiedades físicas, dimensiones, volumen, calor específico, etc., se modifican.

A continuación nos ocuparemos únicamente de los efectos de dilatación que acompañan a las variaciones de temperatura de un cuerpo.

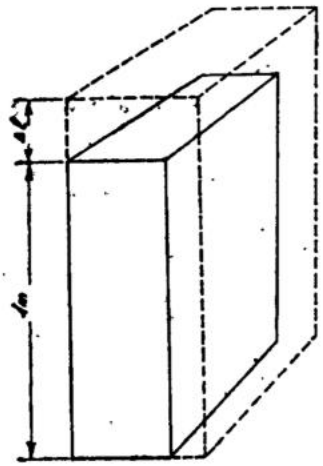


Fig. 43-I. Al calentar un sólido aumentan sus dimensiones.

No todos los cuerpos al ser calentados se dilatan. El caucho extendido, se contrae al ser calentado. Bajo la acción del calor, la arcilla sufre una contracción que conserva después de haberse enfriado. El agua al ser calentada entre 0° y 4° C también disminuye de volumen.

a) *Dilatación de los sólidos.* Al calentar un sólido sus dimensiones aumentan según todas las direcciones como puede verse en la fig. 43-I, creciendo así su superficie y su volumen.

Llámase *coeficiente de dilatación lineal* a la longitud Δl en que aumenta la unidad de longitud de una varilla cuando su temperatura crece en 1° C.

Así por ejemplo, si el coeficiente de dilatación lineal del hierro vale 0,000011, una pieza de este material se expanderá de esta fracción de su longitud por cada grado que aumente su temperatura. Si su longitud es de 1 m, esta crecerá de 0,000011 m, y si su longitud es de 1 cm aumentará de 0,000011 cm por cada grado de aumento de su temperatura.

El coeficiente de dilatación de los metales y aleaciones varía con su composición y su grado de pureza. En la Tabla 9 al final del libro se dan los coeficientes de dilatación lineal de algunos cuerpos.

La diferencia que existe entre los coeficientes de dilatación impide que el cuarzo se suelde con el vidrio o el platino, o que el hierro y el cobre se suelden con el vidrio. En cambio como el vidrio y el platino tienen el mismo coeficiente de dilatación pueden soldarse.

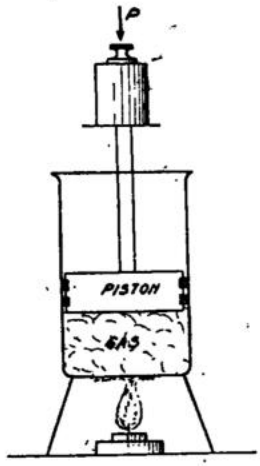


Fig. 44-I. Dilatación de un gas a presión constante.

b) *Dilatación cúbica de sólidos y líquidos.* Según la fig. 43-I, se ve que al calentar un cuerpo aumenta su volumen, definiéndose entonces al *coeficiente de dilatación cúbica* como el aumento de volumen que experimenta un centímetro cúbico de un cuerpo cuando su temperatura aumenta en 1° C. Esta definición vale también para los líquidos y los gases.

Los líquidos se expanden más que los sólidos y ejercen enormes presiones cuando se expanden al ser calentados en recipientes cerrados.

c) *Dilatación de los gases.* Consideremos primero aquel caso en que la presión del gas permanece constante. Para ello se encierra al gas en un recipiente como el de la fig. 44-I, provisto de un pistón cargado con una pesa *P*, que recibe calor desde el exterior.

Se llama *coeficiente de dilatación a presión constante* de un gas, al aumento de volumen que experimenta 1 cm^3 del mismo cuando se eleva su temperatura en 1 °C manteniendo constante su presión.

Imaginemos ahora al gas encerrado en una esfera indeformable y construída de un metal que no se dilate por la acción del calor, fig. 45-I.

Si se entrega calor al gas encerrado en esa esfera, como la misma no se deforma ni se dilata, la presión de aquél aumentará manteniéndose constante su volumen.

Se llama *coeficiente de dilatación a volumen constante* de un gas, al aumento de presión que experimenta el gas cuando se eleva su temperatura en 1° C manteniendo constante su volumen.

Fig. 45-I. Calentando un gas a volumen constante en un recipiente indeformable.

18. VAPORIZACION

Se da el nombre de vaporización al paso del estado líquido al estado de vapor. Esta transformación del líquido en vapor puede efectuarse por el intermedio de fenómenos muy distintos. Puede producirse en el vacío, en una atmósfera gaseosa o por la superficie libre del líquido, en este último caso se habla de *evaporación*, fig. 46-I; o puede, para una temperatura suficientemente elevada, efectuarse por el intermedio de gruesas burbujas que nacen en el seno del líquido y estallan en su superficie, originando lo que se llama *ebullición*; puede igualmente producirse por el contacto de un cuerpo muy caliente, el líquido toma, entonces, la forma de pequeñas esferas cuyas masas decrecen lentamente a medida que prosigue la vaporización, se está en ese caso en presencia del fenómeno llamado *calefacción*, fig. 47-I.

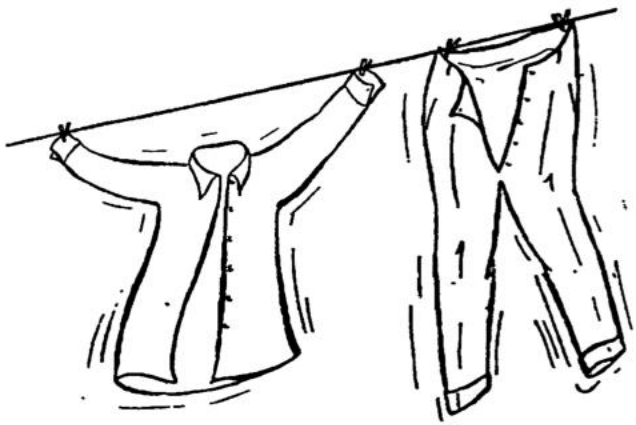


Fig. 46-I. Al evaporarse el agua se seca la ropa.

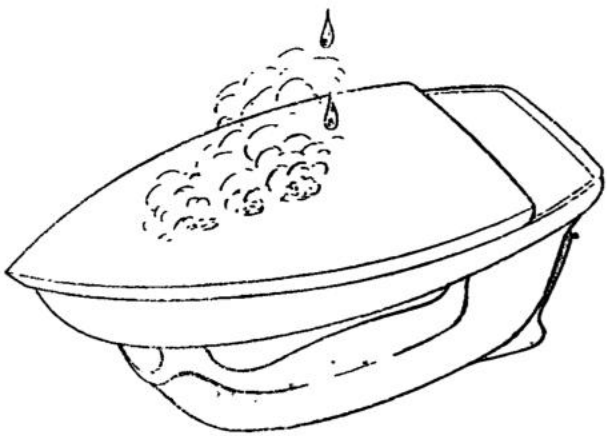


Fig. 47-I. Vaporización del agua por contacto con una superficie muy caliente.

19. EBULLICION EN VASO ABIERTO

Calentemos agua en un vaso abierto, es decir, agua sobre cuya superfice actúa la presión atmosférica. Observando atentamente se nota que el primer efecto que produce el suministro de calor es activar la evaporación del agua por su superficie libre. Luego aparecen pequeñas burbujas que se desprenden de las paredes que reciben calor, pero que no alcanzan a abandonar el líquido pues se condensan al atravesar las capas superiores del mismo que están más frías. La formación y condensación de esas primeras burbujas de vapor origina un ruido característico; el agua *canta* dicen algunos.

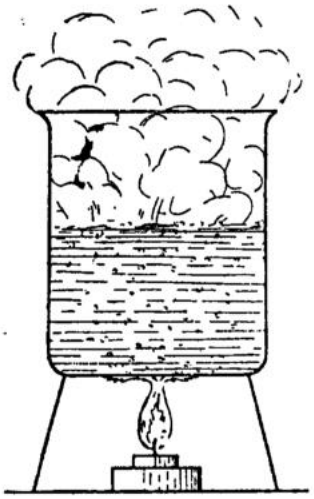


Fig. 48-I. Agua evaporándose a la presión atmosférica en vaso abierto.

A medida que el agua recibe más calor y su temperatura sigue creciendo, aparecen grandes burbujas de vapor que estallan en la superficie del líquido; recién en ese instante comienza la ebullición propiamente dicha.

Si se sumerge un termómetro en el seno del agua se comprueba que, mientras se produce la ebullición, la temperatura no varía a pesar de que el agua recibe calor. Se tiene entonces la impresión de que el calor desaparece. Sin embargo, ello no es así; el calor suministrado durante la ebullición se emplea en cambiar el estado físico del agua, es decir, en transformarla de líquido a vapor.

A la presión atmosférica normal de 760 mm de columna de mercurio aquella temperatura es de 100° C y recibe el nombre de *temperatura normal de ebullición.*

La temperatura normal de ebullición de algunos cuerpos a la presión atmosférica se indica en la Tabla 10 al final del libro.

Si dispusiésemos de un termómetro y de un barómetro muy sensibles observaríamos que, al cambiar la presión atmosférica, en un mismo lugar, también cambia la temperatura de ebullición.

Una comprobación muy interesante puede hacerse al atravesar una región montañosa. Por ejemplo, al cruzar la cordillera de los Andes, si se ha tenido la precaución de llevar un termómetro, será fácil verificar que a medida que se gana altura, el agua hervirá cada vez a menor temperatura y ello debido a que la presión disminuye con la altura.

20. EBULLICION EN VASO CERRADO

Sea un recipiente como el indicado en la fig. 49-I, provisto de dos termómetros, uno cuyo bulbo está sumergido en el líquido mientras que el del otro se encuentra en el seno del vapor; un manómetro que permite leer la

presión que reina en el recinto, y una válvula con la cual puede regularse la presión máxima en el recipiente.

Calentando el recipiente, el líquido hervirá emitiendo vapores, y como aquél está cerrado la presión en su interior aumentará, lo que se comprueba leyendo las indicaciones del manómetro. La presión aumentará hasta que la válvula se levante y comience a salir vapor por el orificio *V*. Si el orificio de la válvula es suficientemente grande la presión en el recipiente permanecerá constante, pues el exceso de vapor producido, y que haría subir la presión, se escapará por la válvula.

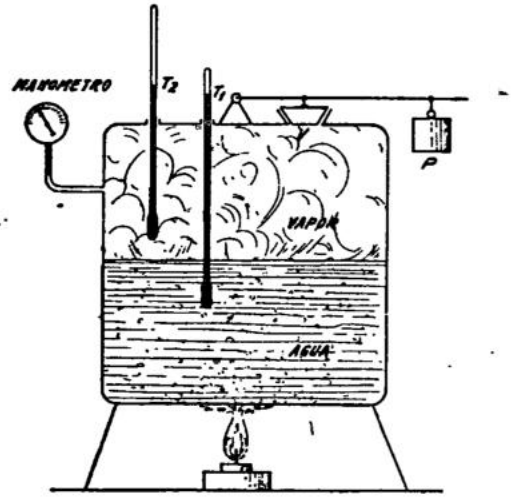


Fig. 49-1. Ebullición del agua en vaso cerrado

Cuando esto ocurre, es decir cuando el recipiente recibe calor y la presión en su interior se mantiene constante, se puede ver que los dos termómetros indican igual temperatura. *El líquido y su vapor tienen la misma temperatura.*

Si se continúa suministrando calor seguirá saliendo vapor por la válvula, el líquido disminuye en el recipiente debido a su transformación en vapor; pero mientras exista líquido la presión interior del recipiente se mantendrá constante lo mismo que la temperatura.

Poniendo una pesa más grande en el brazo de la válvula, para que ésta pueda abrirse deberá ser mayor la presión en el interior del recipiente, lo que puede verificarse leyendo la indicación del manómetro. Si ahora se observan los termómetros se verá que los dos indican la misma temperatura, pero ésta es mayor que la de la experiencia anterior. En ambos casos, se hicieron las lecturas mientras había vapor en contacto con el agua que le daba origen.

Un vapor que se encuentra en contacto con su líquido se llama *vapor saturado*.

La experiencia anterior permite establecer que, *la temperatura de ebullición del agua depende de la presión a que se encuentra sometida, correspondiendo a cada presión una temperatura única y bien determinada.*

En la Tabla 11 del Apéndice puede verse como varía la temperatura de ebullición del agua en función de la presión.

21. PRODUCCION DEL VAPOR DE AGUA

Veamos ahora como se puede obtener vapor a distintas presiones partiendo de agua a 0° C.

Sea un recipiente, como el de la fig. 50-I, en el cual hemos introducido 1 kg de agua al estado líquido y a 0° C. Para que sobre ella actúe la presión de p kg/cm^2, cargaremos el pistón con una pesa de p kg de modo que $P/S = p$; S es la superficie de la sección del cilindro medida en cm^2.

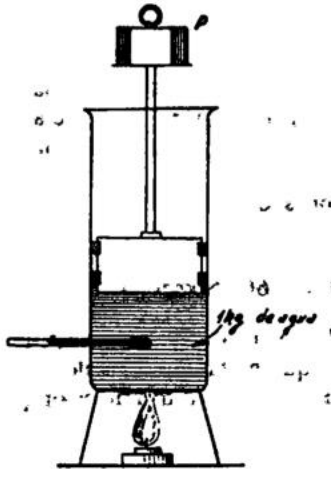


Fig. 50-I. Calentamiento del agua a presión constante.

Suministrando calor al agua su temperatura aumentará hasta alcanzar la de ebullición correspondiente a la presión a que se encuentra sometida. Si $p = 5$ kg/cm^2, la ebullición comienza cuando el termómetro marca 151,1° C, mientras que, si $p = 10$ kg/cm^2 la temperatura indicada será 179,04° C.

Al ser calentada el agua se dilata, pero en una cantidad muy pequeña.

La cantidad de calor que hay que suministrarle a 1 kg de agua sometida a la presión p, para elevar su temperatura desde 0° C hasta la temperatura de ebullición recibe el nombre de *calor del líquido*.

En la Tabla 12 al final del libro puede verse que partiendo de agua a 0° C, para hacerla hervir a las presiones de

	1	5	10	20 kg/cm^2
se necesita	99,1	152,1	181,2	215,8 kcal/kg

Continuemos agregándole calor al agua que ya se encuentra a la temperatura de ebullición. Todo el calor que recibirá ésta se empleará ahora en transformarla en vapor. La columna mercurial no ascenderá, permaneciendo constante la temperatura, pero podrá observarse que el pistón se desplaza empujado por el vapor, manteniéndose constante la presión ya que el peso que actúa sobre él no ha variado.

22. VAPOR SECO

Si en el momento que desaparece la última gota de agua se deja de suministrar calor, el vapor así obtenido se designa con el nombre de *vapor seco*. Este vapor tiene la misma presión y temperatura que la del agua que le dio origen.

23. CALOR DE VAPORIZACION

El calor gastado para convertir 1 kg de agua a la presión p y a la temperatura de ebullición correspondiente a esa presión, en vapor seco a la misma presión y temperatura se llama *calor de vaporización*.

El calor de vaporización por kg de agua a las presiones de

	1	5	10	20 kg/cm²
vale	539,4	503,7	481,8	452,7 kcal

24. CALOR TOTAL DE UN VAPOR

Llámase *calor total de un vapor* a la suma del *calor del líquido* más el *calor de vaporización*, es decir, el calor necesario para convertir 1 kg de agua tomada a la temperatura de 0° C y presión p, en vapor seco a la misma presión.

El calor total del vapor seco a las presiones de

	1	5	10	20 kg/cm²
vale	638,5	655,8	663,0	668,5 kcal/kg

Si en vez de partir de agua a 0° C se utiliza agua a mayor temperatura, como es el caso corriente en las calderas, habrá que gastar menos calor para producir vapor seco, ya que el agua trae consigo una cierta cantidad de calor que no será necesario entregarle desde una fuente exterior.

25. VAPOR HUMEDO

Hemos dicho que durante la ebullición del agua se producen burbujas de vapor en su seno, burbujas que estallan al llegar a la superficie del líquido proyectando gotas de agua, las más pequeñas de las cuales quedan en suspensión en la masa del vapor.

Un vapor que lleva en suspensión gotas de agua es un *vapor húmedo*.

El vapor que sale del domo de las calderas es un vapor húmedo, también es húmedo el vapor que escapa por la chimenea de las locomotoras, pues ése aspecto de neblina que adquiere se debe al agua condensada que lleva en suspensión.

26. TITULO O CALIDAD DE UN VAPOR

Llámase título o calidad de un vapor húmedo a la cantidad de vapor seco que contiene 1 kg del mismo. Así por ejemplo, decir que el título de un vapor es igual a 0,8 (80 %), significa que en 1 kg de vapor húmedo hay 0,800 kg de vapor seco y 0,200 kg de agua.

Se entiende por *grado de humedad* de un vapor húmedo a la cantidad de agua contenida en 1 kg del mismo. En el ejemplo anterior el vapor contiene 0,200 kg de agua, su grado de humedad sería, entonces, 0,2 o también del 20 %.

Para convertir un vapor húmedo en vapor seco hay que entregarle una cantidad de calor suficiente como para evaporar toda el agua que lleva en suspensión, cesando el suministro cuando desaparece la última partícula de agua.

27. VAPOR SOBRECALENTADO

Volvamos a la experiencia considerada en el apartado 21 y supongamos que nos encontramos en el momento en que desaparece la última gota del kilogramo de agua. Si ahora se continúa suministrando calor se observa que crece la temperatura y también el volumen del vapor, pues el pistón se sigue desplazando. La presión que actúa sobre el vapor es siempre la misma ya que no se ha cambiado el peso *P*.

Por ejemplo, si la presión fuese de 10 kg/cm^2 la temperatura de vaporización sería de 179,04° C, temperatura que existía al desaparecer la última gota de agua. Ahora bien, al seguir suministrando calor, el vapor encerrado en el recipiente alcanzará, por ejemplo, la temperatura de 250° C siendo su presión siempre de 10 kg/cm^2, es decir, que la temperatura de este vapor es superior a la de vaporización (179,04° C), a la presión (10 kg/cm^2), a que se encuentra sometido.

Un vapor cuya temperatura es superior a la de vaporización correspondiente a la presión a que se encuentra sometido recibe el nombre de *vapor sobrecalentado*[1]. El *calor total de un vapor* sobrecalentado será igual al *calor del líquido* + el *calor de vaporización* + el *calor de sobrecalentamiento*.

[1] Corrientemente se habla de vapor *recalentado*, término incorrecto para designar a tal vapor, pues por vapor recalentado debe entenderse a aquel que se ha vuelto a calentar después que ha pasado por una máquina.

CENTRO PROTECCIÓN DE MONTEVIDEO

CAPITULO II

COMBUSTION

1. TEORIA ELEMENTAL DE LA COMBUSTION

En este capítulo se tratará de bosquejar en forma muy elemental el proceso de la combustión, proporcionando algunas ideas y valores que permiten entender mejor el funcionamiento del hogar.

La combustión es un proceso químico complicado durante el cual se produce la unión de elementos combustibles con el oxígeno, con desprendimiento de calor.

Para que haya combustión es necesario que exista, entonces, un cuerpo que quema llámado *combustible* y el oxígeno que recibe el nombre de *comburente*.

En el hogar de una caldera la combustión se realiza entre el carbón, la leña, el petróleo o el gas con el oxígeno del aire que penetra por la puerta del cenicero. En el cilindro de un automóvil que funciona con nafta, la combustión se produce entre los vapores de nafta y el oxígeno del aire que penetraron al cilindro durante la carrera de aspiración. En la cocina domiciliaria de gas, la

Fig. 1-II. El calor con que cocinamos nuestros alimentos proviene de la combustión del carbón o de la leña.

combustión tiene lugar entre el gas que sale del mechero y el aire ambiente.

En un soplete de soldadura oxiacetilénica la combustión se origina entre el oxígeno que llega por uno de los tubos y el acetileno que llega por otro.

Fig. 2-II. Soplete oxiacetilénico. Aquí el combustible es el acetileno.

En el motor Diesel la combustión tiene lugar entre el combustible finamente pulverizado, que se inyecta al final de la carrera de compresión, y el aire aspirado durante el tiempo de aspiración y comprimido durante la compresión.

No debe olvidarse que, para que pueda iniciarse la combustión es necesario que exista una temperatura suficientemente elevada, que depende del combustible, llamada *temperatura de ignición*. El solo hecho de poner en contacto el carbón con el aire no basta para que aquél queme, sino que habrá que acercarle una fuente a elevada temperatura como puede ser la llama de un quemador. En el cilindro del motor de nafta la combustión se inicia con la chispa que salta entre los electrodos de la bujía; en el motor Diesel la fuente de calor está constituida por el aire fuertemente comprimido durante la segunda carrera del ciclo.

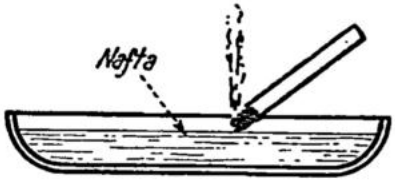


Fig. 3-II. Un recipiente con nafta no puede inflamarse con un cigarrillo, pues el tabaco al arder consume todo el oxígeno que lo rodea y no se eleva la temperatura del líquido o del vapor hasta el punto de ignición.

Para quemar un combustible, se necesitan, entonces, dos cosas: calor y aire. El calor gasifica el combustible—*ningún combustible quema antes de haberse convertido en gas*— y el aire le proporciona el oxígeno.

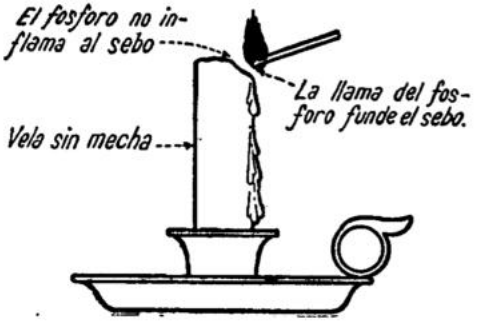


Fig. 4-II. Una vela sin mecha no puede encenderse porque el calor que le entrega el fósforo no es suficiente para vaporizar el sebo.

Que ningún combustible quema antes de gasificarse puede ilustrarse tomando como ejemplo una vela. Si ésta no tiene mecha y tratamos de encenderla acercándole un fósforo sólo conseguiremos derretir parte de la misma, pero no se logrará inflamarla, pues el calor que entrega el fósforo es pequeño comparado con la masa de la vela y no logra vaporizar el sebo.

En cambio si se le agrega una mecha, del sebo que funde al acercar el fósforo, asciende por la mecha una cantidad tan pequeña, comparada con el calor que entrega el fósforo, que alcanza a vaporizarse y a quemar, entonces, con relativa facilidad. Luego la combustión del sebo desarrolla suficiente calor para que el proceso continúe.

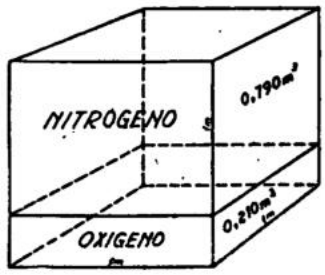


Fig. 5-II. Un metro cúbico de aire contiene 0,790 m³ de nitrógeno y 0,210 m³ de oxígeno.

El aire es una mezcla de oxígeno, nitrógeno y una pequeña cantidad de otros gases; por eso puede decirse, sin cometer error apreciable, que el aire está compuesto solamente por oxígeno y nitrógeno. De estos dos elementos, como ya se dijo, solamente el oxígeno participa de la combustión; el nitrógeno es un gas inerte que no quema, llega al hogar, por ejemplo a 25° C y sale del mismo a elevada temperatura transportando al exterior, en esa forma, cierta cantidad de calor, lo cual es perjudicial desde el punto de vista del rendimiento del hogar.

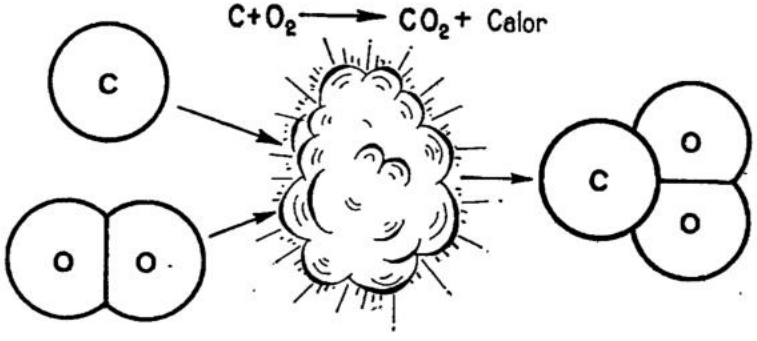


Fig. 6-II. El carbono al quemar con suficiente oxígeno, produce anhídrido carbónico.

1 m^3 de aire contiene 0,210 m^3 de oxígeno y 0,790 m^3 de nitrógeno, o sea también 210 dm^3 de oxígeno y 790 dm^3 de nitrógeno.

En un kilogramo de aire existen 0,230 kg de oxígeno y 0,770 kg de nitrógeno o lo que es lo mismo 230 gramos del primero y 770 del segundo.

Los principales elementos contenidos en los combustibles usados en los hogares de las calderas son, el carbono (C), el hidrógeno (H_2), el azufre (S), el nitrógeno (N_2), el oxígeno (O_2), humedad y cenizas.

Veamos ahora a qué productos dan origen al quemar cada uno de estos elementos:

a) El carbono cuando quema con suficiente oxígeno (o aire) produce anhídrido carbónico. Esto se llama la combustión completa del carbono.

b) Al quemar el carbono con menos aire que en el caso anterior da origen al óxido de carbono. Se dice, en ese caso, que la combustión del carbono ha sido incompleta.

c) El hidrógeno quema produciendo vapor de agua. En el gas que sale por la chimenea o por el escape de un automóvil o de un motor Diesel hay vapor de agua que no podemos ver, pues como se encuentra a elevada temperatura se comporta como un gas confundiéndose con los otros gases con que sale mezclado. Sin embargo, recuérdese que muchas veces se ha visto salir agua por el escape del motor de un automóvil; esa agua no proviene de fugas existentes en la camisa del cilindro, sino que el vapor de agua al encontrar el caño de escape frío se ha condensado transformándose en agua.

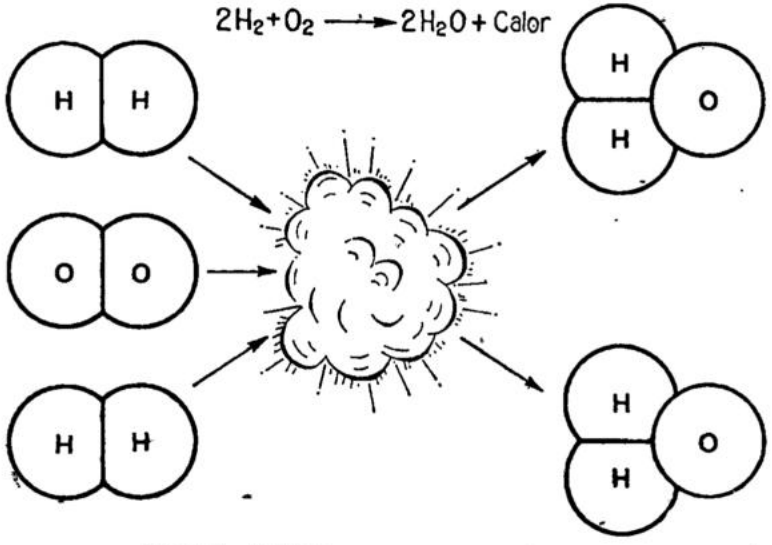


Fig. 7-II. El hidrógeno quema generando agua.

d) El azufre da anhídrido sulfuroso.

e) El nitrógeno no quema, recibiendo el enombre de gas inerte.

f) La humedad es agua, por lo tanto no quema sino que se vaporiza absorbiendo calor.

g) Las cenizas tampoco queman, son sustancias incombustibles.

Entonces, al quemar un combustible en el hogar de la caldera saldrá por la chimenea anhídrido carbónico, óxido de carbono, vapor de agua, anhídrido sulfuroso, si el combustible contenía azufre, nitrógeno y, también, si la combustión se realiza con exceso de aire aparecerá oxígeno, pues el oxígeno de ese exceso de aire, que no ha intervenido en la combustión, aparece como tal en la chimenea.

2. OXIGENO NECESARIO PARA LA COMBUSTION

Los químicos nos enseñan que:

a) 16 g de oxígeno (O_2) se unen a 2 g de hidrógeno (H_2) para dar 18 g de agua (H_2O);

b) 32 g de oxígeno (O_2) se unen a 12 g de carbono (C) para dar 44 g de anhídrido carbónico (CO_2);

c) 16 g de oxígeno (O_2) se unen a 12 g de carbono (C) para dar 28 g de óxido de carbono (CO);

d) 32 g de oxígeno (O_2) se unen a 32 g de azufre (S) para dar 64 g de anhídrido sulfuroso (SO_2);

e) 16 g de oxígeno (O_2) se unen a 28 g de óxido de carbono (OC) para dar 44 g de anhídrido carbónico (CO_2).

En base a las ecuaciones de reacción se puede deducir también que:

A) 11,2 m^3 de O_2 se unen a 22,4 m^3 de H_2 para dar 22,4 m^3 de vapor de agua;

B) 22,4 m^3 de O_2 se unen a 12 kg de carbono C para dar 22,4 m^3 de CO_2;

C) 11,2 m^3 de O_2 se unen a 12 kg de C para dar 22,4 m^3 de CO;

D) 22,4 m^3 de O_2 se unen a 32 kg de S para dar 22,4 m^3 de anhídrido sulfuroso.

E) 11,2 m^3 de O_2 se unen a 22,4 m^3 de CO para dar 22,4 m^3 de CO_2;

o también, que para quemar:

A') 1 m^3 de H_2 se necesitan 0,5 m^3 de O_2;

B') 1 kg de H_2 necesita 5,6 m^3 de O_2 para obtener agua;

C') 1 kg de C se necesitan 1,867 m^3 de O_2 para obtener CO_2;

D') 1 kg de C se necesitan 0,933 m^3 de O_2 para obtener CO;

E') 1 kg de S se necesitan 0,700 m^3 de O_2;

F') 1 m^3 de CO se necesita 0,500 m^3 de O_2.

Para calcular la cantidad de oxígeno que exige la combustión de 1 kg de combustible, será necesario conocer su composición, ya sea en peso o en volumen.

Así por ejemplo, si se nos dice que la composición del combustible (fuel-oil) que se quema en un hogar es la siguiente:

C	0,860 kg	ó	860 g
H_2	0,140 kg	ó	140 g
Total.....	1,000 kg		1,000 g

Se tendrá, según *A'* y *B'*, que para quemar:

1) el carbono, se necesitan

$$860 \times 2,67 = 2296,2 \text{ g de } O_2$$

2) el hidrógeno, se necesitan

$$140 \times 8 = 1120,0 \text{ g de } O_2$$

Sumando resulta que cada kilogramo de combustible requiere 3416,2 g de oxígeno o lo que es lo mismo 3,416 kg de oxígeno.

Si se quisiera saber ahora el volumen de O_2 necesario, éste prodría determinarse utilizando los valores que figuran más arriba, B' y C', que se han calculado en base a las ecuaciones químicas de reacción. Entonces, para quemar

1) el carbono, se necesitan

$$0{,}860 \times 1{,}867 = 1{,}605 \text{ m}^3 \text{ de } O_2$$

2) el hidrógeno, se necesitan

$$0{,}140 \times 5{,}6 = 0{,}784 \text{ m}^3 \text{ de } O_2$$

Sumando resulta que cada kilogramo del combustible en cuestión necesita 2,389 m^3 de oxígeno.

3. AIRE NECESARIO PARA LA COMBUSTION

Como ya se dijo, la combustión en el hogar se realiza con aire. En el hogar deberá penetrar por lo tanto, una cantidad de aire que contenga el oxígeno necesario para la combustión.

Esto es fácil de calcular conociendo los gramos de oxígeno requeridos y los gramos de oxígeno que contiene cada kilogramo de aire.

En el párrafo 1 vimos que cada kilogramo de aire contiene 230 g de O_2 y como en el ejemplo del párrafo 2 había que enviar 3416,2 g de O_2, la cantidad de aire en kg necesaria para quemar aquel combustible se obtiene dividiendo a 3416,2 por 230 o sea;

$$\frac{3416{,}2}{230} = 14{,}8 \text{ kg de aire por kg de combustible}$$

Si ahora, lo que se quiere determinar es el volumen necesario de aire, habrá que trabajar con el volumen de oxígeno obtenido en la segunda parte del

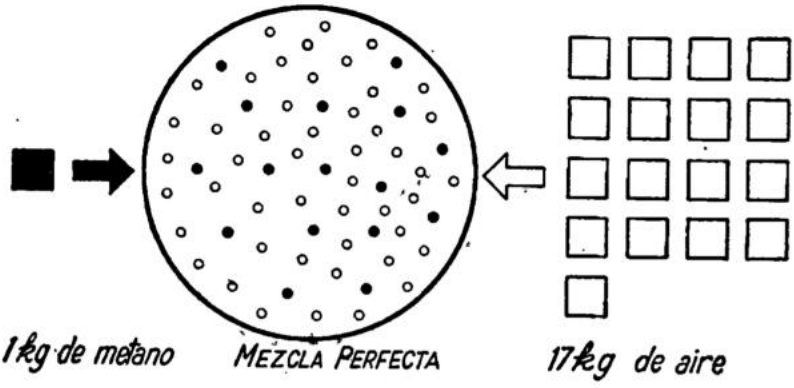


Fig. 8-II. Mezcla perfecta entre el metano y el aire necesario para su combustión.

cálculo anterior y recordar que 1 m^3 de aire contiene 0,210 m^3 de O_2. Entonces

$$\frac{2,389}{0,210} = 11,37\ m^3 \text{ de aire por kg de combustible}$$

No sólo basta para obtener una buena combustión disponer del combustible y del aire necesario, sino que es importante que cada partícula o elemento de combustible encuentre la cantidad de oxígeno que necesita para quemar. Para ello debe existir una mezcla homogénea entre el aire y el combustible, lo que se consigue fácilmente en el caso de los combustibles gaseosos, líquidos o carbón pulverizado.

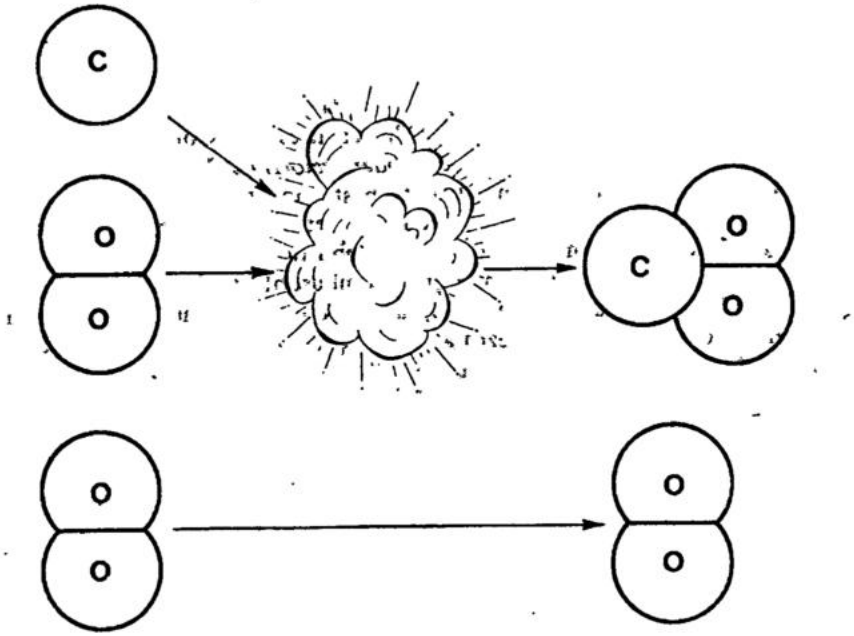


Fig. 9-II. El exceso de oxígeno no participa de la combustión.

La cantidad de oxígeno y de aire determinada por el cálculo, tal como se acaba de ver, recibe el nombre de *oxígeno y aire teóricamente necesarios*, pues como veremos al estudiar hogares, para poder quemar totalmente el kilogramo de combustible debe existir en el hogar mayor cantidad de aire que la que resulta del cálculo, o sea debe haber un exceso de aire.

El *exceso de aire* depende no sólo del tipo de combustible sino también del tipo de hogar.

El exceso de aire no interviene en la combustión, es aire que penetra en el hogar a la temperatura ambiente de 25 ó 30° C y sale por la chimenea, según el estado de funcionamiento del hogar y tipo de caldera, entre 170 y 300° C.

Se ve que el aire ha sufrido un calentamiento. Para calentarse absorbió calor del hogar, calor que en vez de pasar al agua de la caldera es lanzado a la atmósfera, y es por lo tanto *calor perdido*.

4. PODER CALORIFICO[1]

Se entiende por poder calorífico de un combustible al calor desprendido durante la combustión completa de un kilogramo del mismo si es sólido o líquido, y de 1 m^3 si se trata de un gas. Como las cantidades de calor se expresan en kcal, la unidad con que se mide el poder calorífico será según el caso kcal/kg o kcal/m^3. Dado que los gases se dilatan al disminuir la presión que actúa sobre ellos o al aumentar su temperatura, el poder calorífico se refiere al m^3 normal (m^3n) o sea a 1 m^3 de gas sometido a la presión de 760 mm. de columna de mercurio y a 0° C.

Más arriba al estudiar la combustión se vio que al quemar una sustancia que contiene hidrógeno, aparece vapor de agua en los productos de la combustión, vapor de agua que abandona el hogar al estado sobrecalentado. En las determinaciones experimentales del *poder calorífico* los productos de la combustión son enfriados generalmente hasta una temperatura para la cual el vapor de agua que contienen se condensa, en esa forma, el calor latente de vaporización de este último se suma al de combustión.

En consecuencia, para un mismo combustible y siempre que contenga hidrógeno podrá hablarse de su *poder calorífico inferior* cuando el agua originada por la combustión permanezca al estado de vapor, y de su *poder calorífico superior* cuando aquélla se haya licuado.

[1] Véase para una información más amplia sobre este tema: M. Mesny, "Generación del vapor", cap. II, págs. II-44 a II-49, Editorial Marymar, Buenos Aires.

CENTRO PROTECCIÓN CHOFERES DE MONTEVIDEO

CAPITULO III

COMBUSTIBLES

1. GENERALIDADES

Industrialmente reciben el nombre de combustibles los cuerpos capaces de combinarse con el oxígeno, con suficiente desprendimiento de calor como para mantener la incandescencia.

Un combustible debe reunir las condiciones de ser abundante y barato, y no dar lugar a la formación de sustancias que ataquen a los cuerpos calentados o que sean nocivos para la salud.

2. COMBUSTIBLES INDUSTRIALES

Los combustibles utilizados en la industria pueden clasificarse como sigue:

TABLA 1-III

CLASIFICACIÓN DE COMBUSTIBLES

Tipo	*Natural*	*Manufacturado*
Sólido	Hullas Lignito Turba Leña	Coque Carbón de leña Briquetas
Líquido	Petróleo	Alquitrán Destilado de petróleo Residuo de petróleo Alcoholes Combustibles coloidales

Tipo	*Natural*	*Manufacturado*
Gaseoso	Gas natural	Gas de alumbrado Gas de agua Gas de aceite Gas de gasógeno Gas de alto horno Acetileno

En lo que sigue nos ocuparemos con preferencia de los combustibles que se utilizan en las calderas.

3. PODER CALORIFICO

Llámase poder calorífico de un combustible sólido al calor desarrollado por la combustión completa de 1 kg del mismo.

Este se expresa en kcal/kg.

Cuando se trata de combustibles líquidos, puede referirse el poder calorífico al calor desarrollado por 1 kg o por 1 m^3 del mismo, en este caso se habla de kcal/kg o de kcal/m^3.

En cambio, para los combustibles gaseosos el poder calorífico se refiere siempre al calor desarrollado por 1 m^3 de gas, es decir, kcal/m^3.

En la Tabla 13 al final del libro figuran los poderes caloríficos de algunos combustibles.

4. HUMEDAD

Todos los combustibles sólidos contienen agua higroscópica, es decir, contienen humedad. La humedad se expresa en % (por ciento); decir que un combustible contiene 5% de humedad significa que en 100 g del mismo hay 5 g de agua higroscópica, o también, que en 1 kg hay 50 g de agua.

En los carbones la humedad está comprendida, generalmente, entre 1 y 5%, pudiendo llegar en algunos casos hasta 40%.

La humedad natural del carbón se encuentra entre sus poros y forma parte del mismo, siendo retenida por el combustible cuando se lo seca al aire.

A la humedad natural de los combustibles se suma aquella que absorbe el combustible durante su transporte y estacionamiento, o aquella que se le agrega ex-profeso cuando se lo moja. Esta última suele llamarse humedad de impregnación.

La leña verde contiene mucha humedad natural que dificulta su ignición, pues, antes que ésta se produzca, la leña debe sufrir un proceso de secado lo que requiere absorción de calor para evaporar el agua.

El poder calorífico de un combustible es afectado por la humedad que contiene.

En efecto, 1 kg de combustible húmedo desarrolla menos calor al quemar que 1 kg del mismo combustible pero seco, ya que en el primero no todo es combustible mientras que en el segundo sí. Por ejemplo, en 100 g de un carbón que tiene 10% de humedad habrá 90 g de carbón y 10 g de agua, en consecuen-

cia sólo quemarán 90 g de carbón, mientras que en un carbón seco con 0% de humedad quemarán 100 g de carbón.

El agua que trae consigo el combustible afecta el rendimiento de la combustión en el hogar, pues aquella debe ser evaporada durante la combustión, y como ya se vio más arriba, para evaporar agua se necesita calor, obteniendo ese calor, del que desarrolla el carbón al quemar.

El calor gastado para evaporar la humedad de un combustible es casi totalmente perdido, ya que el vapor de agua escapa por la chimenea sin ceder calor a la caldera o cediendo muy poco.

5. CENIZAS Y ESCORIAS

Las cenizas están formadas por sustancias minerales no combustibles que caen al cenicero durante la combustión. Cuando el tiro es muy enérgico y las cenizas son muy livianas pueden ser arrastradas hacia la chimenea; en las locomotoras se deposita gran cantidad de cenizas en la caja de humo.

La combustión de la leña produce únicamente cenizas, mientras que la del carbón produce cenizas y puede dar origen, también, a escorias.

Si la temperatura alcanzada en un hogar, donde se quema carbón, es capaz de fundir las cenizas, éstas se unen, se aglomeran, formando sobre la parrilla, o en el seno de la masa de carbón, bloques o tortas que al enfriarse producen una sustancia que se pega al carbón, al emparrillado y a los ladrillos de la pared del hogar constituyendo la escoria.

Esa sustancia pastosa de que hemos hablado recién impide el paso del aire, por eso una vez solidificada es necesario romperla con una herramienta apropiada y sacarla por la puerta del hogar o hacerla caer al cenicero.

Un combustible que produce mucha escoria no es conveniente para quemar en los hogares de las calderas.

Si las cenizas son infusibles a la temperatura reinante en el hogar, éstas se reducen a polvo y caen al cenicero.

Como la humedad, las cenizas son sustancias inconvenientes pues también disminuyen el poder calorífico del combustible.

Lo que se paga por la humedad y las cenizas es dinero mal gastado, pues estos dos elementos no producen calor, de ahí que debe limitarse su contenido en los combustibles industriales.

Las cenizas en un carbón bueno no deben pasar de 5%, pero suele aceptarse hasta 12%; en los carbones baratos el porcentaje varía de 12 a 18% debiendo desecharse los que tengan un porcentaje mayor de cenizas.

6. AZUFRE

Muchos carbones contienen azufre. Este es un elemento inconveniente para el buen funcionamiento de las calderas. Se presenta generalmente como un sulfuro de hierro llamado pirita.

La presencia del azufre en el carbón tiene los siguientes inconvenientes:

a) Al quemar, la pirita origina óxido de hierro que al mezclarse con la escoria la vuelve más fusible, lo que le permite filtrarse a través de la capa de carbón hasta llegar a la parrilla, donde al ser enfriada

por la corriente de aire se solidifica y pega a los barrotes. Estas escorias con pirita corroen los emparrillados.

b) Al quemar, la pirita produce humo sulfuroso que al mezclarse con el agua condensada sobre las paredes metálicas más frías de la instalación de caldera, por ejemplo, en el economizador o en el precalentador de aire, forman ácidos que corroen las chapas o los tubos de estos aparatos.

7. MATERIAS VOLATILES Y COQUE

Cuando se calienta un trozo de carbón, al llegar su temperatura alrededor de 350° C comienzan a desprenderse materias gaseosas o *materias volátiles*, formadas esencialmente por hidrocarburos, óxido de carbono e hidrógeno. Cerca de los 900° C termina el desprendimiento de gases, se dice entonces que la destilación del carbón ha concluido. El producto resultante es lo que se llama *coque*.

8. COMBUSTIBLES SOLIDOS. ORIGEN DE LA HULLA

Las investigaciones geológicas han permitido establecer que la hulla debe su origen a materias vegetales.

Hace alrededor de seiscientos millones de años que el carbón tuvo su origen en los grandes bosques pantanosos de la edad carbonífera. Durante un tiempo que se calcula alrededor de cincuenta millones de años, crecieron árboles y helechos gigantes que luego cayeron en los pantanos donde sufrieron un proceso de descomposición transformándose en turba.

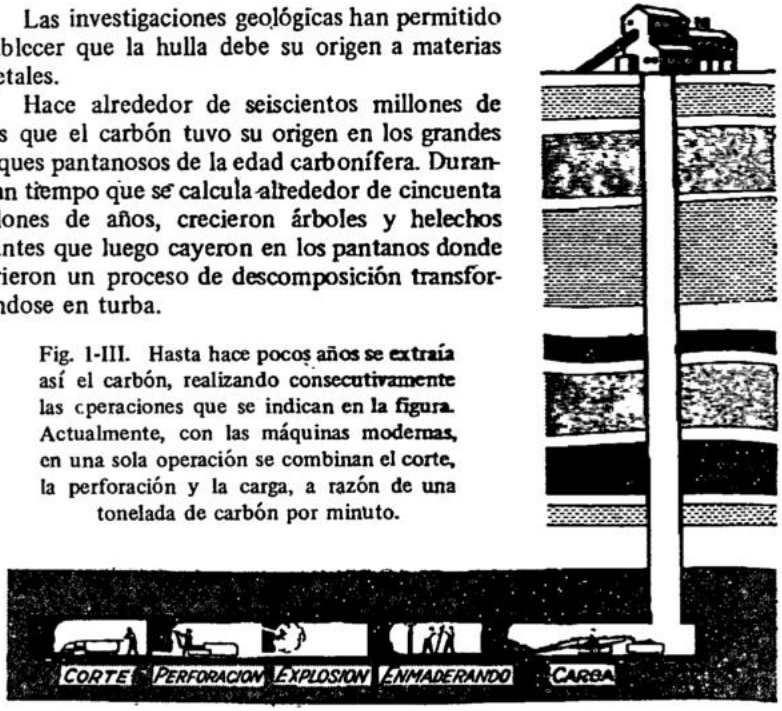


Fig. 1-III. Hasta hace pocos años se extraía así el carbón, realizando consecutivamente las operaciones que se indican en la figura. Actualmente, con las máquinas modernas, en una sola operación se combinan el corte, la perforación y la carga, a razón de una tonelada de carbón por minuto.

El desbordamiento de los ríos acumuló sobre esta turba una gran cantidad de materias sólidas llamadas sedimentos, sobre las que volvieron a crecer árboles, que de nuevo, al caer y estar sumergidos en agua originaron

turba que a su vez fue tapada por sedimentos arrastrados por el desbordamiento de los ríos, constituyendo así otra capa de turba.

Después de algunos millones de años esta turba, enterrada y sometida a presión y por efecto del calor fué perdiendo humedad y sus materias volátiles originando el carbón.

La diferencia que existe entre los distintos carbones se debe a que no todos se formaron en la misma época ni en las mismas condiciones.

Debido a su elevado poder calorífico, a los enormes yacimientos explotados y a la facilidad de su manipuleo y transporte, el carbón de piedra o hulla constituye el combustible sólido por excelencia para la produción industrial de vapor.

9. CLASIFICACION DE LAS HULLAS

No existe aún una clasificación de las hullas aceptada universalmente, de ahí que se las encuentre clasificadas de varias formas según el país de origen.

Nosotros nos referiremos a las clasificaciones adoptadas en el continente europeo y en Estados Unidos de Norte América. Por otra parte, la clasificación de las hullas según categorías tiene poca importancia para los industriales que exigen simplemente un producto que reúna determinadas condiciones, como ser: poder calorífico, humedad, cenizas, azufre, tamaño, etc.

En el continente europeo se suele clasificar a las hullas así:

a) Según su contenido de materias volátiles, como sigue:

TABLA 2-III

CLASIFICACIÓN EUROPEA DE LAS HULLAS

Hulla	*Materias volátiles, %*	*Uso racional*
Seca de llama larga ..	40 a 49	Para gas y calderas
Grasa	32 a 39	Fragua e industria
Grasa	24 a 32	Para coque y calderas marinas
¾ grasa	18 a 23	Idem
½ grasa	14 a 17	Briquetas para marina e industria
¼ grasa	10 a 13	Uso doméstico
Antracitosa magra	7 a 9	
Antracita	menos de 7	

b) Se clasifican también las hullas, en *secas* y *grasas*, según el aspecto de los residuos que dejan cuando se las calienta en vaso cerrado fuera de la acción del aire.

Se llaman *hullas secas* aquellas cuyos residuos no se sueldan formando una ceniza pulverulenta. Al quemarse en el hogar sus fragmentos conservan su forma prismática.

Son *hullas grasas* las que al calentarse se funden y aglutinan hinchándose considerablemente.

De una y otra hay diversos tipos según lo indica el cuadro siguiente.

TABLA 3-III

CLASIFICACIÓN ESTADOUNIDENSE DE LAS HULLAS

Hullas	*Materias volátiles* %
SECAS:	
de llama larga	40
de llama corta	15
antracita	2
GRASAS:	
de llama larga	45
de llama corta	15
hulla de fragua	5 a 7

1 *b*) *Hullas secas de llama larga.* – Son de color mate, poseen cierta dureza, rotura concoidal, son de encendido fácil, de llama larga y dan coque pulverulento. Pueden usarse en las calderas de hogar exterior. Cuando las chapas de las calderas están muy cerca de la parrilla la llama se enfría y apaga dejando un depósito de hollín.

2 b) *Hullas secas de llama corta.* – Tienen color negro, son friables, de encendido difícil, de llama corta poco humosa y coque pulverulento. Se usan en las calderas. Suelen crepitar y romperse durante la combustión, cayendo pequeños fragmentos al cenicero.

3 b) *Antracita.* – De color negro grisáceo, con brillo metálico, arde difícilmente, crepita y se desmenuza; produce coque pulverulento.

4 b) *Hullas grasas de llama larga.* – Se ablanda sin formar crosta. Se usa en la fabricación de gas de alumbrado.

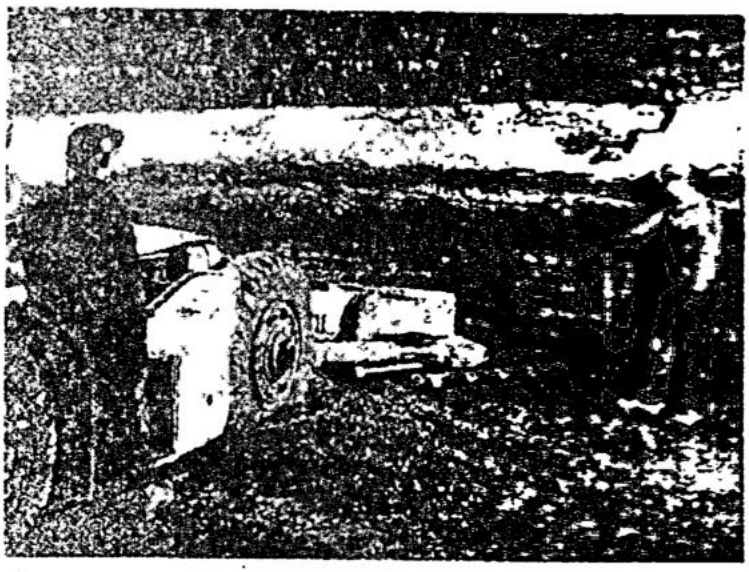


Fig. 2-III. Máquina moderna para el corte del manto del carbón.

5 b) *Hullas grasas de llama corta.* – Son friables y se ablandan poco al arder, su llama es corta pero humosa, dan coque aglomerado y poroso. Se usan en las calderas.

6 b) *Hulla grasa de fragua.* – Es de color negruzco, su rotura es laminar, se ablanda y forma crosta al quemar. Su llama es corta y blanca. Da un coque aglomerado y poroso. Se usa en fraguas.

En Estados Unidos de Norte América las hullas se clasifican según se indica a continuación.

1. *Antracita.* – Es un carbón duro comúnmente llamado carbón de piedra, que quema con llama amarilla-azul muy corta y sin humo. Contiene alrededor de 83% de carbono, 3% de materias volátiles, 10% de cenizas y 3% de humedad. Su peso específico es bastante elevado.
2. *Semi-antracita.* – Es menos dura y densa que la antracita. Prende con más facilidad y da una llama ligeramente amarilla. Contiene alrededor de 80% de carbono, 9% de materias volátiles, 8% de cenizas y 1,5% de humedad.
3. *Semi-bituminoso.* – Es menos denso que la antracita y prende más fácilmente. Su combustión produce un calor intenso y da muy poco humo. La mejor calidad de este carbón tiene un poder calorífico más elevado que el de otros carbones, por eso su demanda para la producción de vapor es grande. Contiene alrededor de 73% de carbono, 17% de volátiles, 2% de humedad y 8% de cenizas.
4. *Bituminoso.* – La característica principal que distingue a los carbones bituminosos es su elevado contenido de materias volátiles con respecto a los semi-bituminosos. Queman así más fácilmente y con llama larga y amarillenta, dando un humo pesado de color amarillo y con olor a betún. Existen muchas variedades de este carbón, siendo difícil establecer reglas que permitan distinguirlos con precisión. Su color va desde el muy negro hasta el pardo. La variedad más pesada es de lustre resinoso. Este carbón es el más empleado para fines industriales, para generar vapor y para quemar en los gasógenos.

Según el proceso de preparación y el tamaño de los trozos pueden clasificarse las hullas como sigue:

a)	*Carbón todo uno*	bruto de extracción, trozos de todo tamaño tal como vienen de la mina.
b)	*Carbón grueso*	*pedazos de tamaño superior a los* 80 mm.
c)	*Galletas*	grosor, I, II, III, IV y V, que corresponden a trozos de alrededor de 75 a 15 mm.
d)	*Carbón mezclado*	mezcla de galleta y de trozos gruesos.
e)	*Carbón menudo*	trozos de 8 a 15 mm.

f) *Carbón fino* ..... trozos de 0 a 8 mm.

g) *Polvo de carbón* ..... trozos de 0 a 3 mm.

Las hullas que se funden y aglutinan formando sobre la parrilla una masa pastosa que impide el paso del aire, no pueden usarse en los hogares de las calderas; tampoco son convenientes las que se desmenuzan y caen en fragmentos al cenicero por las pérdidas que ello implica.

Al extraerse de las minas se separan de la hulla las sustancias,minerales, y si esto no se juzga suficiente se procede al lavado con agua.

10. LIGNITO

Se debe a la descomposición húmeda de la madera sometida a la presión de capas terrestres. Es más antiguo que la turba. Arde con llama luminosa y con mucho humo, y deja como residuo una fuerte proporción de cenizas.

Este carbón tal como viene de la mina contiene generalmente de 30 a 40% de agua. Secado al aire se quiebra en lajas o láminas desintegrándose, siendo entonces su contenido de humedad de 10 a 40% y el de cenizas de 5 a 12%.

11. LA TURBA

Como se dijo al hablar de la formación del carbón, la turba es la primera sustancia que aparece durante el proceso de transformación de las plantas en carbón.

La turba no es un carbón. Es de color negruzco, liviana y esponjosa. Secada al aire contiene alrededor de 20% de humedad; recién extraída esa proporción se eleva a 50%. Su contenido de cenizas varía entre 2 y 30% según la procedencia. La turba apta para quemar en las calderas contiene de 6 a 8% de cenizas.

12. LA LEÑA

Este combustible se utiliza para la producción de vapor casi exclusivamente en aquellas industrias tales como los aserraderos o plantas de elaboración de madera, donde quedan muchos residuos y desechos combustibles, o cuando las condiciones locales permiten obtenerla en forma abundante y barata.

En nuestro país, debido a la escasez de carbón y petróleo experimentada durante la guerra se utilizó la leña en gran cantidad como combustible.

La leña se compone principalmente de celulosa.

Comparada con el carbón de piedra en lo que respecta al poder calorífico, 1 kg de carbón es equivalente a unos $2^1/_2$ kg de leña.

Este combustible es fácilmente inflamable, arde con llama larga y su ceniza es suelta y muy liviana.

Recién cortada contiene entre 40 y 50% de humedad. Secada al aire su humedad se reduce entre 15 y 25%. Término medio contiene 1,5% de cenizas.

Su gran contenido de humedad contribuye en forma notable a su depreciación como combustible industrial.

13. BRIQUETAS O AGLOMERADOS

Durante la extracción del carbón en la mina, parte de éste se convierte en polvo que no puede quemarse en los hogares de emparrillado pues caería a través de los barrotes.

Este polvo se lo mezcla con un aglutinante que puede ser brea común en proporción de 5 a 10%, y luego se lo somete a presión calentándolo ligeramente y dándole la forma de panes que reciben el nombre de briquetas.

Las briquetas de buena calidad deben ser duras, no friables y de forma regular; no deben dar olor, ni ablandarse en los días calurosos.

Como el combustible, en esa forma, ocupa menos lugar y está menos expuesto a las combustiones espontáneas, se lo emplea con preferencia en aquellos casos en que debe tenerse grandes provisiones en depósito.

Cuando las circunstancias lo han exigido se han fabricado también briquetas o aglomerados de maíz y de aserrín.

14. ALMACENAMIENTO DEL CARBON

Al estudiarse el almacenado del carbón de piedra o hulla debe contemplarse un fenómeno muy importante. Cuando el carbón está expuesto a la acción de la atmósfera se combina con el oxígeno del aire, desprendiendo calor. Esta es una combustión que se realiza en forma sumamente lenta, disminuyendo el tamaño de los trozos como así también la calidad y el poder calorífico de este combustible.

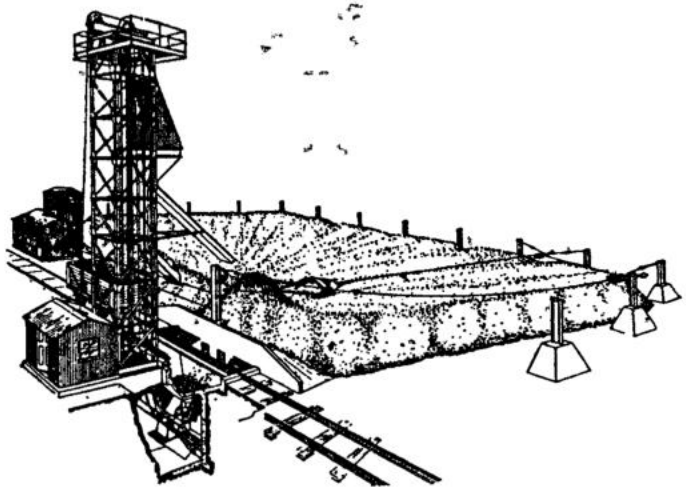


Fig. 3-III. Instalación para operar con carbón en pila.

Si el calor desarrollado por esta combustión se concentra en un área pequeña, la temperatura aumenta creciendo así la oxidación. Algunas veces la elevación de temperatura puede ser suficiente para que se encienda el carbón

quemándose entonces la pila de combustible. Este es el fenómeno conocido con el nombre de combustión espontánea del carbón.

Lo más común es almacenar el carbón a la intemperie. Se construye para ello sobre el suelo una planchada de escorias o carbonilla apisonada, con una ligera pendiente hacia los extremos para facilitar el escurrimiento del agua, y sobre esa planchada se levanta la pila. Los bordes se sostienen con paredes hechas con trozos más grandes del mismo combustible o también por un muro de mampostería.

Es necesario facilitar la ventilación de la pila para que se elimine el calor que produce la combustión lenta.

El almacenado en trozos pequeños que produce mayor superficie de absorción de oxígeno, y mayor dificultad de ventilación, ofrece condiciones más favorables a la combustión espontánea, debiendo, por lo tanto, evitarse encerrar carbón menudo en el centro de la pila.

Otro medio de oponerse a la combustion espontanea es encerrar el carbón herméticamente, para ello se construyen silos, de los que se extrae el aire una vez que se los ha cargado. Además, se instalan en ellos cañerías apropiadas para enviar agua o vapor en caso de combustiones espontáneas.

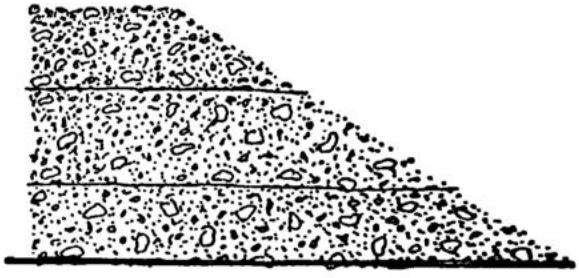


Fig. 4-III. Método correcto de apilar carbón. Los trozos gruesos y finos de carbón, bien mezclados, se apilan en capas de aproximadamente 60 cm de espesor sobre las que pasa una aplanadora.

Fig. 5-III. Método correcto de descargar el carbón. Los trozos gruesos y finos se mezclan uniformemente.

Fig. 6-III. Método incorrecto de apilar carbón. Así se separan los trozos finos de los gruesos.

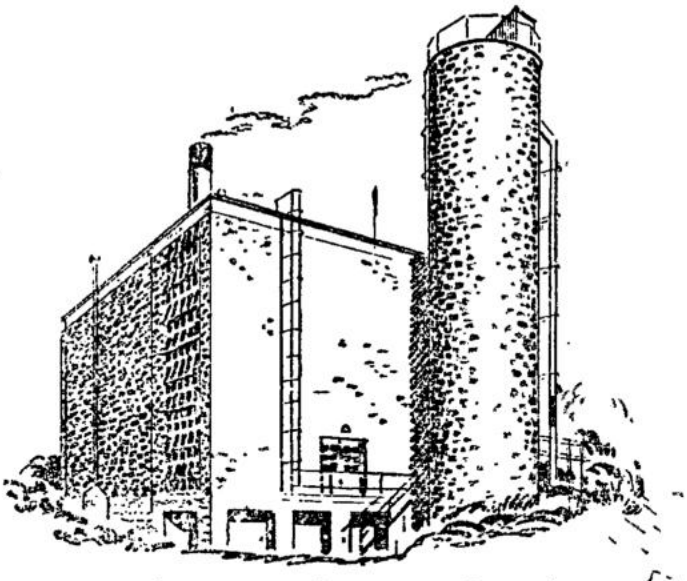


Fig. 7-III. Vista de una central eléctrica con un silo para almacenamiento de carbón.

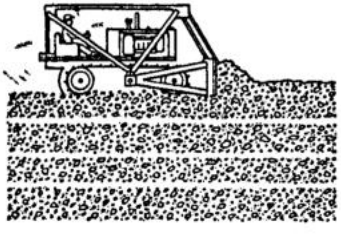


Fig. 8-III. Compactando una pila de carbón. Utilizando una topadora o un rodillo se compactan las capas de carbón, haciendo la pila más densa y disminuyendo así el peligro de combustión espontánea.

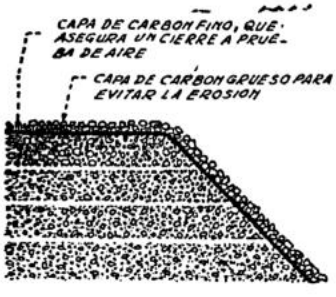


Fig. 9-III. Cierre de la pila. Con una capa de carbón fino, u otro material apropiado, se reduce la entrada de aire al seno de la pila evitándose las combustiones espontáneas.

También se suele almacenar al carbón bajo el agua.

La leña se apila, casi siempre, a la intemperie; pero si no se quiere que absorba mucha humedad habrá que cubrirla con tinglados.

15. COMBUSTIBLES LÍQUIDOS. PETROLEO

El petróleo es un líquido que se extrae del subsuelo mediante perforaciones apropiadas. El petróleo y sus derivados suministran prácticamente todos los combustibles líquidos utilizados comercialmente.

El origen del petróleo es mucho más discutido que el del carbón. Dos son las teorías más difundidas sobre esta cuestión.

1) La teoría inorgánica, que sostiene que el petróleo se ha formado sin la intervención de organismos vivos, y
2) la teoría orgánica, que sostiene que organismos vivos, como ser las bacterias, descompusieron a materias vegetales o animales dando origen al petróleo.

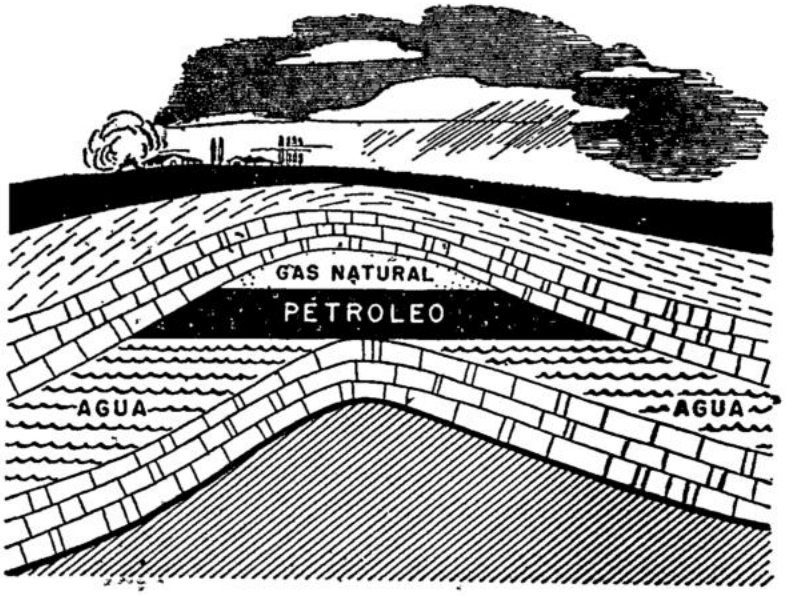


Fig. 10-III. Formación petrolífera típica. El gas y el petróleo son presionados hacia arriba por el agua. Los dos mantos de roca mantienen aprisionado el petróleo.

El *petróleo crudo* consiste en complicadas combinaciones de carbono e hidrógeno que reciben el nombre de *hidrocarburos*. Hidrocarburos son la nafta, el kerosene, la parafina, la vaselina, etc., es decir, sustancias constituídas por carbono e hidrógeno.

La composición del petróleo varía mucho de acuerdo con el lugar de donde proviene.

Después de extraído de los pozos, se lo somete al proceso de destilación para obtener los llamados *subproductos del petróleo* o *destilados del petróleo*, pues, quemar el petróleo tal como surge de los pozos es antieconómico ya que los subproductos tienen un valor apreciable; sólo se quema así a los petróleos pobres.

Los productos separados del petróleo por destilación se diferencian por su peso específico y su temperatura de vaporización. Estos pueden ordenarse como sigue:

DESTILADOS DEL PETROLEO	Gases	Supergás Nos. 1, 2 y 3
		Otros gases
	Destilados livianos	Aeronaftas
		Motonaftas
	Destilados intermedios	Kerosene
		Agricol
		Aguarrás
	Destilados medianos	Gas oil
		Diesel oil
	Destilados pesados	Aceites lubricantes
	Residuos	Fuel oil
		Asfaltos

De los combustibles derivados del petróleo, el que se utiliza para quemar en las calderas es el fuel-oil, que en el lenguaje común los foguistas llaman petróleo. Este es un combustible que tiene la ventaja de no dejar cenizas al quemar y de ser de fácil manipuleo.

16. ALMACENADO DEL PETROLEO

Corrientemente los tanques donde se almacena el petróleo son de forma cilíndrica o rectangular, construyéndoselos con chapas de acero o de hormigón armado.

Las chapas de acero tienen el inconveniente de ser corroídas y necesitan mayor cuidado para su conservación, presentando en cambio buena hermeticidad. Los de hormigón armado resisten la acción corrosiva, pueden construirse fácilmente de cualquier forma y requieren poco gasto de conservación.

Los tanques se instalan a nivel del suelo o bajo tierra; en el primer caso la construcción resulta más barata pero existe mayor peligro de incendio sobre todo cuando se produce una rotura.

El fondo de los tanques debe ser esférico o plano con cierta inclinación, para que el agua que decanta se acumule en un lugar desde donde sea así fácil su extracción.

Es necesario que tengan indicador de nivel, filtro, grifo de purga y limpieza y elementos para combatir incendios.

Los tanques se rodean por terraplenes si están al nivel del suelo, o por muros si están por debajo, formando así una cámara que retiene el petróleo en caso de rotura del tanque. Se instala, además, en el tanque, un serpentín para calefacción, por el interior del cual se hace circular vapor para hacer más fluido al petróleo en tiempo muy frío y poderlo bombear hasta la sala de calderas.

17. COMBUSTIBLES GASEOSOS

Solo el gas natural tiene importancia comercial como combustible para producir vapor. Los gases manufacturados alcanzan precios que los hacen prohibitivos para este fin.

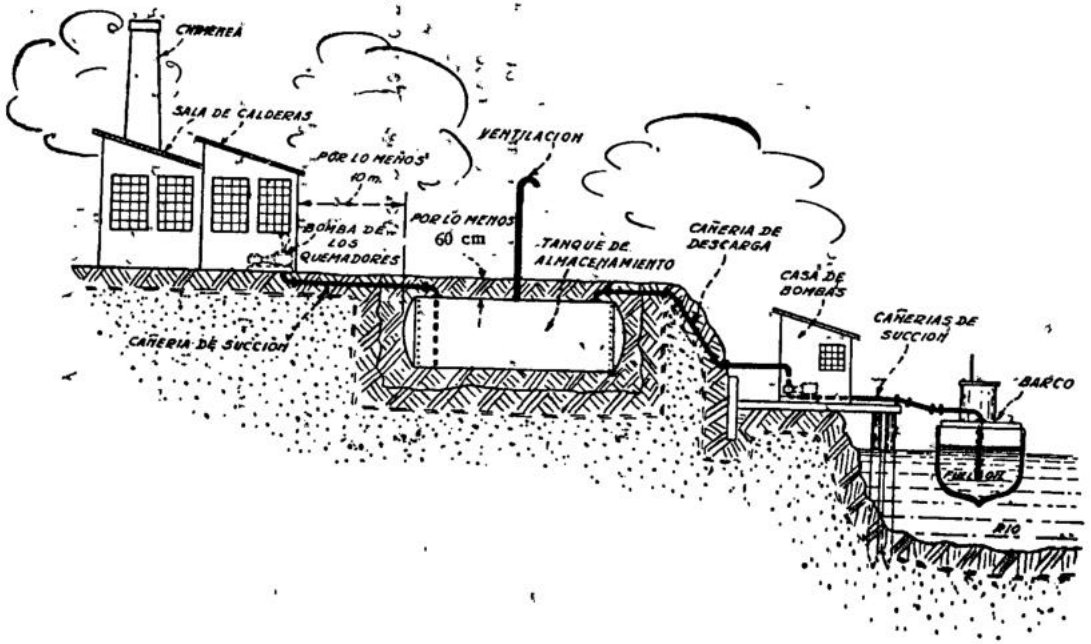


Fig. 11-III. Descargando petróleo de un barco. Se aprecia aquí todos los elementos de la línea de bombeo.

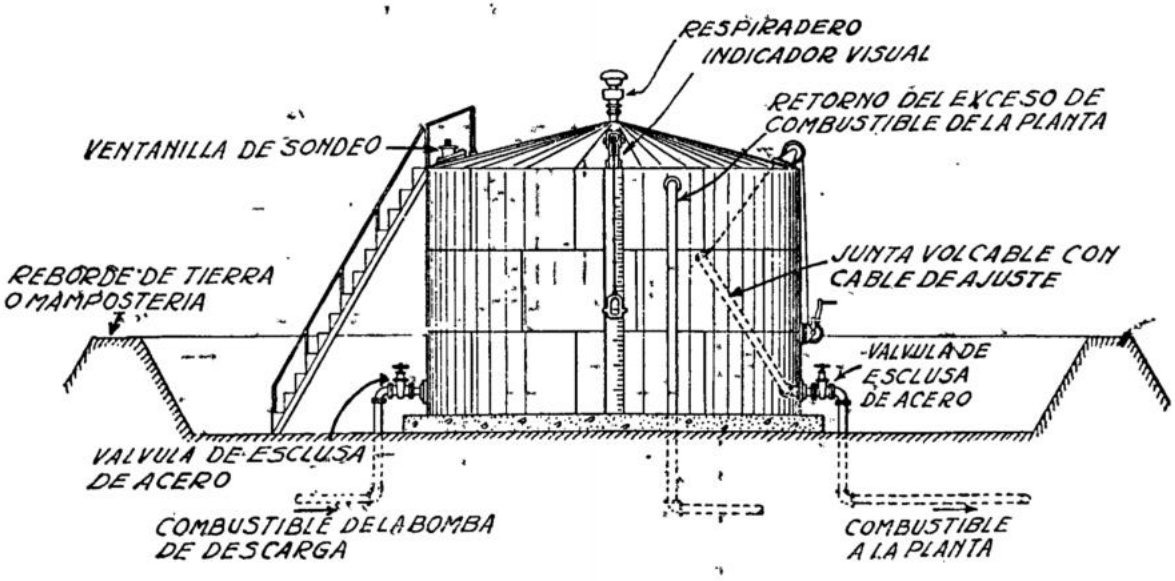


Fig. 12-III. Tanque vertical de acero para almacenamiento de petróleo.

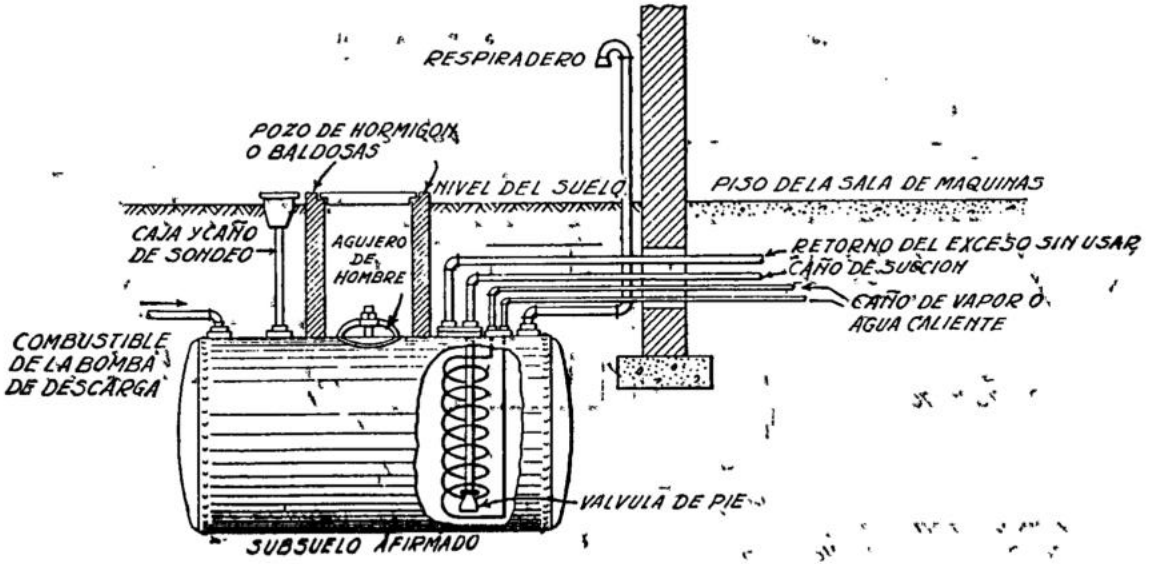


Fig. 13-III, Tanque de almacenamiento instalado bajo tierra.

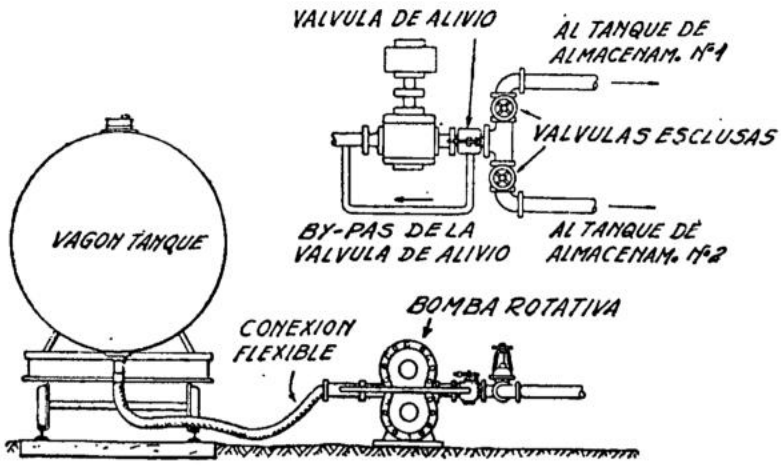


Fig. 14-III. Descargando petróleo de un vagón tanque.

El gas natural es incoloro e inodoro, quema con llama ligeramente luminosa y es altamente explosivo mezclado con el aire. Está constituido generalmente por metano y etano; ambos son combustibles gaseosos.

Al salir del pozo, el gas natural es sometido a un tratamiento apropiado para extraerle aquellos productos fácilmente condensables. Luego se lo comprime hasta alrededor de 25 atm para distribuirlo por los gasoductos hasta muchos cientos de kilómetros desde los campos de donde se lo extrae.

El gas natural constituye un excelente combustible desde el punto de vista de operación pues es limpio, se adapta fácilmente al funcionamiento automático y requiere pocos elementos para su combustión.

Su costo elevado es su principal inconveniente.

CENTRO PROTECCION DE MONTEVIDEO

CAPITULO IV

HOGARES

1. DEFINICION

El hogar es aquella parte de la caldera donde se realiza la combustión. Su forma y dimensiones deben permitir que el combustible queme completamente antes que los gases de la combustión toquen las superficies de la caldera que están mucho más frías que ellos, y evitar así que se deposite sobre las mismas el hollín. Este cuerpo al depositarse forma una capa que aumenta el espesor de la chapa pasando entonces menos calor al agua de la caldera. Los gases de la chimenea saldrán por lo tanto más calientes originándose mayores pérdidas.

El aire debe tener libre acceso al hogar en cantidad suficiente y regulable, y debe mezclarse íntimamente con el combustible; las pérdidas de calor deben ser mínimas y la temperatura a obtenerse la mayor posible.

2. CLASIFICACION DE LOS HOGARES

Los hogares tienen características especiales según el combustible con que se alimentan que, como se sabe, puede ser sólido, líquido o gaseoso; cuando éste sea sólido dependerá de que se presente en trozos más o menos grandes, en trozos menudos o en polvo.

Los hogares pueden clasificarse así:

A - *Hogares para combustibles sólidos*
- 1) de carga a mano.
- 2) de emparrillado mecánico.
- 3) de polvo de carbón.

B - *Hogares para petróleo*

C - *Hogares para gases.*

3. HOGARES PARA COMBUSTIBLES SOLIDOS DE CARGA A MANO. PARRILLA

Para quemar el carbón, es necesario que lo atraviese una corriente de aire, lo que se consigue depositándolo sobre un enrejado o emparrillado que a la vez que sostiene el carbón deja pasar el aire, fig. 1-IV.

Normalmente este emparrillado forma un plano inclinado que desciende con pendiente suave, desde la puerta del hogar hacia el altar, y está constituido por una serie de barrotes separados entre sí por espacios libres que dejan pasar el aire.

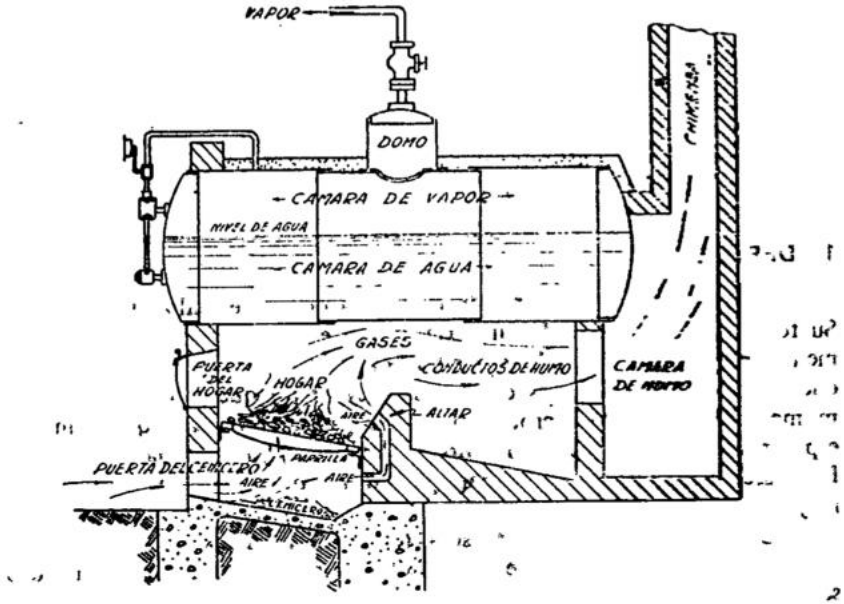


Fig. 1-IV. Vista de los distintos elementos que constituyen una caldera. En este caso se quema combustible sólido sobre un emparrillado.

El aire entra por la puerta del cenicero, por debajo de la parrilla, pasa por entre los barrotes y atraviesa la capa de combustible.

La suma de los espacios comprendidos entre los barrotes se llama *superficie libre de la parrilla*. Esta sección debe ser lo suficientemente grande para permitir el paso del caudal de aire necesario para la combustión.

Los barrotes son por lo general de fundición blanca, material que resiste muy bien la acción del cálor y el ataque químico de las sustancias que se desprenden durante la combustión, siendo por lo demás, barato, lo que permite

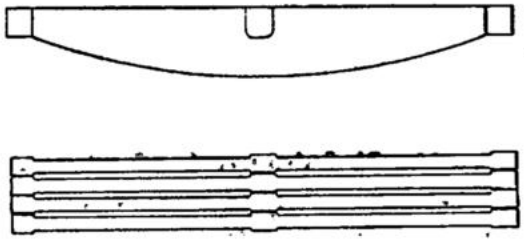


Fig. 2-IV. Barrote de parrilla común.

Fig. 3-IV. Otros tipos de barrotes de parrillas.

su frecuente remoción. Se les da a los barrotes una sección triangular, pues como se ve en la fig. 2-IV, esto facilita la caída de las cenizas y escorias y la entrada del aire.

En cada extremo, los barrotes tienen un ensanchamiento prismático llamado talón o cabeza; destinado a mantener determinada distancia entre ellos. Cuando la longitud de los barrotes es apreciable hay otro ensanche en el centro para evitar que se deformen, fig. 2-IV. En general, la longitud de los barrotes no debe ser mayor de 1 m. Si las dimensiones de la parrilla exigen una longitud mayor, se colocan dos o más barrotes en serie, uno a continuación del otro, fig. 4-IV *a* y *b*.

El hogar no puede hacerse exageradamente largo porque entonces el fogonero no podría conducir bien el fuego.

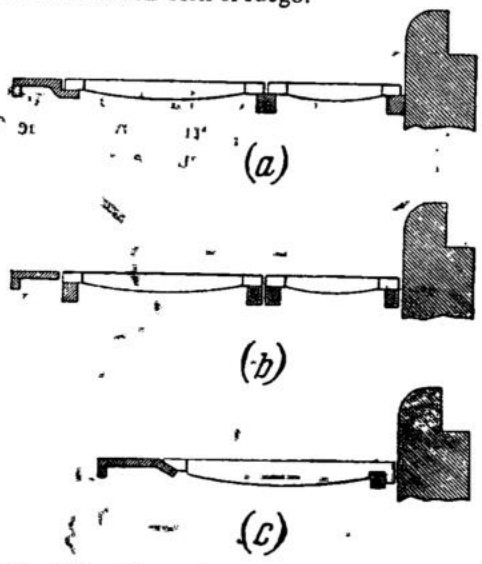


Fig. 4-IV. Diversas formas de apoyar los barrotes.

4. EMPARRILLADO DE BARROTES MOVILES

Para impedir la adherencia de las escorias y facilitar su caída al cenicero se emplean las parrillas de barrotes móviles, de las que da una idea la de la fig. 5-IV.

Los barrotes se accionan desde afuera del hogar mediante una palanca. El movimiento recíproco de los barrotes provoca la rotura de las escorias y su caída al cenicero.

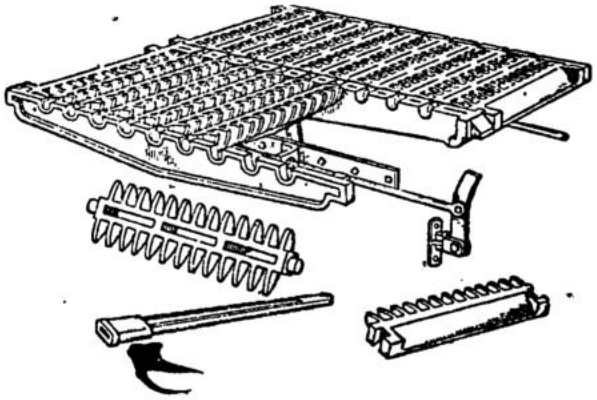


Fig. 5-IV. Emparrillado de barrotes móviles.

5. PUERTAS DEL HOGAR

Por la puerta del hogar el fogonero echa el combustible y realiza las operaciones de conducción del fuego. Las puertas deben ser de fácil manejo, y tener un contrapeso o una disposición para que se cierren automáticamente.

Fig. 6-IV. Puerta del hogar de una locomotora.

Es conveniente que tengan contrapuerta para que el calor irradiado por el hogar lo reciba ésta, actuando como aislante el aire que circula entre la puerta y la contrapuerta debido al tiro.

6. BOVEDAS

Para mejorar la combustión, en las calderas de locomotoras, puede colocarse una pantalla o bóveda que arranca de la placa tubular, fig. 7-IV, y suele ir hasta la mitad del hogar, siendo su objeto producir cierta turbulencia en los gases, evitar que las llamas choquen contra la placa tubular dañándola y aumentar el tiempo de estadía de los gases en el hogar.

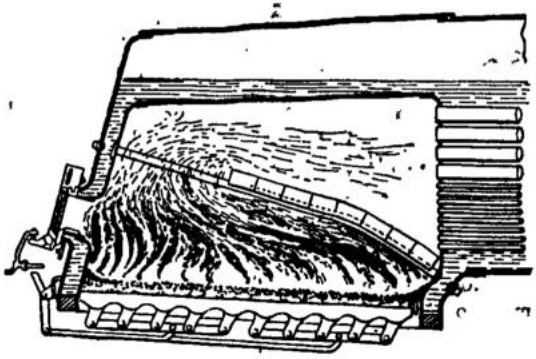


Fig. 7-IV. Bóveda en un hogar de locomotora.

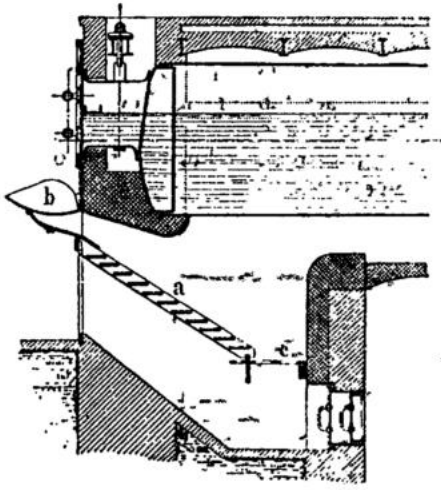
7. ALTAR

Al final de la parrilla se halla el altar, fig. 1-IV, pequeño muro de material refractario que, además de limitar la parrilla evitando la caída del combustible, favorece la combustión de los productos volátiles que destilan del combustible provocando su mejor mezcla con el aire, pues estrecha el paso de los gases que abandonan la parrilla aumentando su velocidad y provocando turbulencia. Como consecuencia se obtiene un mayor rendimiento de la combustión.

8. PARRILLA PARA COMBUSTIBLES MENUDOS

Cuando el combustible está constituido por trozos pequeños o se trata de aserrín u otra substáncia análoga, la parrilla está formada por una serie de barrotes puestos transversalmente en forma de escalera, con una disposición tal que el aire pase con facilidad y la combustión se lleve a cabo en muy buenas condiciones, reduciéndose al mínimo las pérdidas en el cenicero.

La distribución de los combustibles es generalmente poco uniforme,



siendo más espesa la parte que está más cerca de la boca de carga, pero esto se compensa por la acumulación de las escorias y cenizas, en la parte posterior, debido a la fuerte inclinación. Esta inclinación es de 35 a 40°. Los barrotes pueden ser planos apoyados en muros extremos, y si son largos con un apoyo en el medio. A veces se les da una sección T. En casi todos los hogares en escalera, al término de ella existe un espacio de barrotes horizontales comunes donde se acumula la escoria, fig. 8-IV.

Fig. 8-IV. Emparrillado para combustibles menudos.

9. CONDUCCION DEL FUEGO

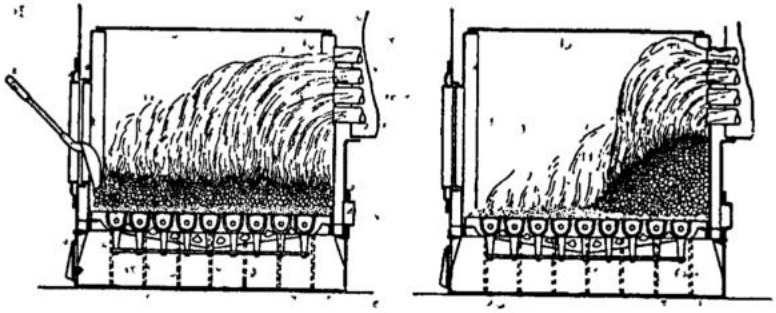
Supongamos un hogar ya en funcionamiento en el que vamos a echar carbón. Para ello, es necesario abrir la correspondiente puerta, lo que significa que por allí va a entrar una cantidad de aire bastante grande que se encuentra a la temperatura ambiente, es decir, aire que está frío con respecto al hogar.

Este aire se calienta con el calor que absorbe al atravesar el hogar, por lo tanto, hace disminuir la temperatura de aquél, y al pasar a la chimenea y luego a la atmósfera lleva cierta cantidad de calor que se pierde. Además, ese *golpe de aire frío*, contra los tubos y chapas de la caldera, como así también contra los ladrillos de la mampostería del hogar, produce contracciones bruscas del material que puede dar lugar a grietas y a su destrucción más o menos rápida.

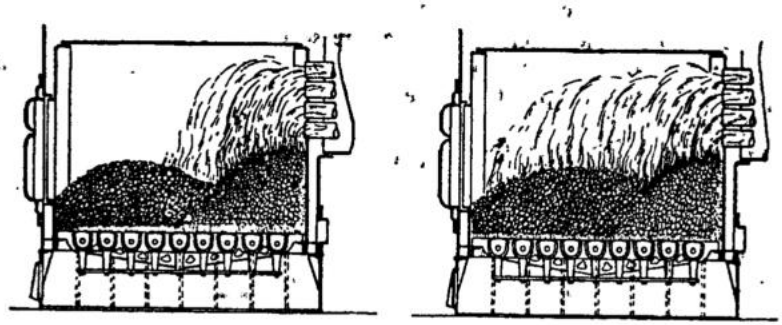
Luego el fogonero echa una capa de carbón fresco sobre la que ya está incandescente y cierra la puerta. Esa capa aumenta la resistencia al paso del aire, siendo, entonces, necesario, para mantener la actividad de la combustión, abrir más el registro de la chimenea.

Al principio, el nuevo carbón absorbe calor para calentarse, lo que sumado a las dificultades del paso del aire puede provocar una apreciable disminución de la temperatura del hogar, sobre todo si la capa agregada es de espesor grande. Al calentarse, el carbón se hincha, y la parte bituminosa se ablanda; los trozos en contacto mutuo se pegan más o menos, según la calidad del combustible, haciendo más dificultoso el paso del aire, hasta que debido a la recepción continuada de calor, el carbón nuevo comienza a destilar, es decir, a dar productos gaseosos combustibles, quedando sobre el emparrillado lo que hemos llamado coque.

Ahora es más fácil el paso del aire; el coque quema vivamente y el lecho de carbón se vuelve así más abierto facilitando aún más el movimiento del aire. Continúa la combustión y con ello disminuye el espesor de carbón haciéndose más activo aquel fenómeno. Si en el momento oportuno no se vuelve a cargar combustible, el espesor de carbón se hace tan pequeño que el aire que pasa por el emparrillado es excesivo. Esto significa que se está calentando aire que no se emplea para la combustión y que lo único que hace es llevar calor al exterior; calor que no se emplea para producir vapor.



Con el método de coquización se obtiene buen rendimiento y poco humo; cuando se va a echar nuevo combustible empújese el carbón hacia trás, lo que deja sitio para introducir carbón fresco en el fren-



te del hogar. Los volátiles destilan lentamente, y el gas destilado se mezcla con el aire secundario sobre el carbón incandescente, dando una buena combustión.

Fig. 9-IV. Conduciendo bien el hogar se obtiene poco humo.

De aquí surge que, eligiendo convenientemente el intervalo que separa a las cargas entre sí, como también a la cantidad de combustible que se echa cada vez, se puede obtener el máximo rendimiento de la combustión sobre los emparrillados de carga a mano.

Tres son las formas como puede cargarse el hogar:

1) En cada carga se echa carbón al hogar formando una capa de espesor uniforme sobre toda la parrilla, comenzando generalmente por el fondo y terminando por el frente. Las cargas deben ser frecuentes y en pequeñas cantidades.
2) Se carga alternativamente cada lado del emparrillado de modo que los gases que destila el carbón fresco puedan quemarse al atravesar las llamas del lado opuesto.
3) Se empuja el carbón incandescente hacia adelante y se carga el carbón fresco en el frente del hogar, cerca de la puerta, dejándoselo allí hasta que se transforme en coque. Los gases que destila el carbón fresco queman al dirigirse hacia adelante, al atravesar las llamas del carbón en combustión. Luego se empuja al coque hacia adelante y se lo desparrama sobre toda la parrilla, echándole una nueva cantidad de carbón fresco.

El primer método es seguramente el que más se emplea, pero es eficiente sólo cuando las cargas son frecuentes y pequeñas para que no se reduzca la temperatura del hogar por debajo de la de ignición de los gases destilados.

Cuando el carbón contiene muchos volátiles deben preferirse el segundo y tercer método de carga, pues con ellos siempre existe la posibilidad de que aquellos gases quemen.

10. AIRE SECUNDARIO

Para una buena combustión, debe entrar también aire al hogar por otros lugares convenientemente elegidos. Este aire se mezcla con los gases combustibles que abandonan el lecho de carbón, y recibe el nombre de aire *secundario*. El que penetra por la puerta del cenicero y atraviesa el emparrillado es el *aire primario*:

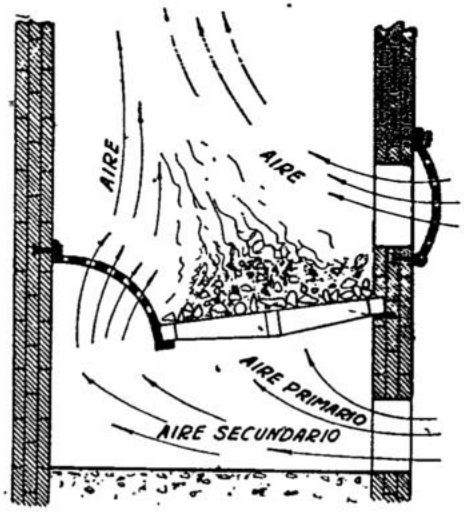


Fig. 10-IV. Entradas de aire secundario en un hogar de emparrillado.

En la fig. 10-IV, el aire secundario penetra por la puerta del hogar y por un enrejado ubicado al final del emparrillado. En el hogar representado en la figura 1-IV sale por una abertura que existe en el altar.

11. LIMPIEZA DEL HOGAR

Después que el hogar ha funcionado un cierto tiempo, las escorias y cenizas que se han formado obstruyen parcialmente el espacio libre del emparrillado, siendo necesario, entonces, proceder a su limpieza.

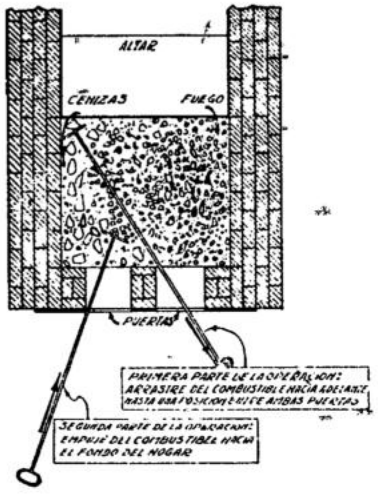


Fig. 11-IV. Uno de los métodos empleados para limpiar el fuego.

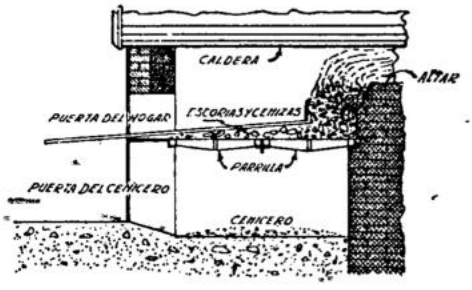


Fig. 12-IV. Otro método de limpieza del fuego.

Para ello pueden seguirse dos métodos:

a) Se empuja, fig. 11-IV, sobre la mitad izquierda el combustible que se encuentra sobre la mitad derecha del emparrillado, hasta que queden al descubierto las cenizas y escorias que luego se despegan del emparrillado utilizando herramientas adecuadas, y se las hace caer así al cenicero. Luego se vuelve a llevar el combustible antes retirado al lugar que ocupaba y sobre él se echa carbón fresco. Recién cuando la combustión sobre la mitad que se ha limpiado es intensa, se procede a limpiar la otra mitad en forma análoga.

b) El otro método, fig. 12-IV, consiste en empujar hacia el altar el combustible que se encuentra en la mitad delantera del emparrillado y limpiar esta parte. Luego se vuelve a distribuir el combustible incandescente sobre la parrilla y se echa sobre el combustible fresco, y una vez que éste quema se procede a limpiar la otra mitad en la misma forma.

Durante la limpieza se recomienda mantener casi cerrado el registro de aire para evitar que éste acuda en cantidad excesiva.

Para la limpieza del hogar se utilizan las herramientas indicadas en las figs. 13-IV.

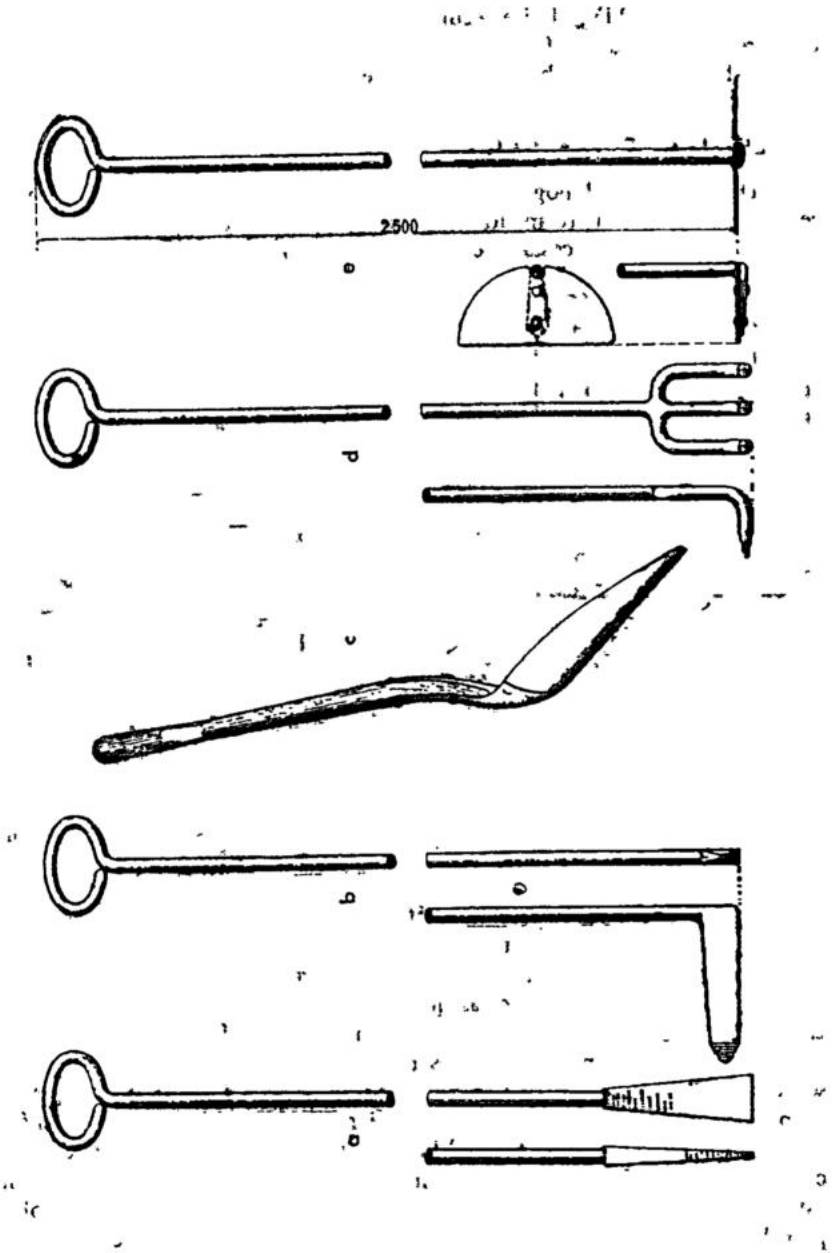


Fig. 13-IV. Distintas herramientas empleadas por el fogonero. a) Lanza recta para atizar el fuego y romper las escorias; b) Lanza de gancho para atizar el fuego por debajo del emparrillado; c) Pala para echar el carbón al hogar; d) Tridente para batir las brasas aglomeradas; e) Tira-brasas que sirve para acumular y para distribuir las brasas cuando se limpia el emparrillado.

12. CAUSA DEL HUMO

El humo que se ve salir por la chimenea está compuesto de partículas de hollín debidas a la combustión incompleta de los hidrocarburos que se desprenden del combustible durante el período de su destilación. El hollín se debe a las siguientes causas.

a) el aire suministrado es insuficiente para la combustión completa;

b) el aire y los gases combustibles no se han mezclado bien;

c) el volumen del hogar donde debe realizarse la combustión es muy pequeño, lo que no permite la mezcla adecuada del aire con los gases, provocando, además, su enfriamiento al ponerse éstos rápidamente en contacto con las paredes de la caldera y los tubos.

13. HOGARES MECANICOS

Cuando la cantidad de carbón que hay que cargar en un hogar es muy grande, es necesario recurrir a los hogares mecánicos donde la carga se hace automáticamente, pues sería imposible realizarla a mano por la cantidad de fogoneros necesarios y por el número de puertas que debería existir en el hogar. Aun cuando se dispusiera de los fogoneros requeridos, se comprende que se molestarían entre ellos y que la conducción del fuego resultaría imposible. En los hogares mecánicos la limpieza del emparrillado se realiza también automáticamente.

Como en estos hogares no es necesario abrir puertas para efectuar las cargas, no existe el inconveniente de las entradas adicionales de aire ni de los golpes de aire frío que se producen en los de carga a mano.

14. HOGARES DE PARRILLAS SIN FIN

La parrilla está constituida por una serie de cadenas sin fin, fig. 14-IV, lo suficientemente flexibles para que puedan arrollarse sobre los tambores colocados en cada una de las extremidades. El carbón cae sobre la parrilla desde una tolva instalada en el frente del hogar, regulándose el espesor de la capa de combustible mediante un registro que se baja más o menos según la cantidad de vapor que debe producirse.

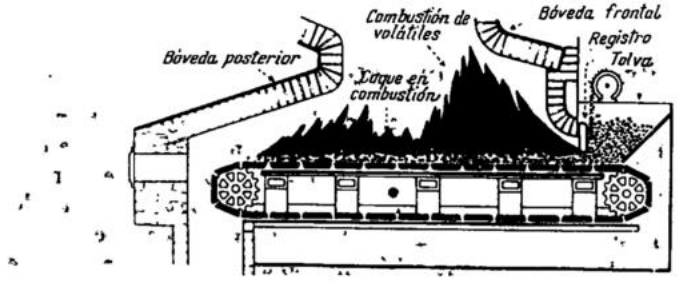


Fig. 14-IV. Hogar alimentado mediante un emparrillado de cadena sin fin.

Al entrar el combustible comienza a calentarse, destilan los productos volátiles y se produce la combustión del carbón debido al calor que reflejan las bóvedas de material refractario.

La velocidad del emparrillado se ajusta de tal modo que al llegar el carbón a la parte posterior se haya consumido totalmente; las cenizas caen automáticamente cuando llegan al tambor posterior.

Las bóvedas del hogar juegan un importante papel, pues reflejan el calor necesario para producir la destilación e ignición del carbón y cumplen, también, con la importante misión de mezclar los gases ricos que se desprenden del frente con los gases pobres que vienen del fondo, obteniéndose así una buena combustión.

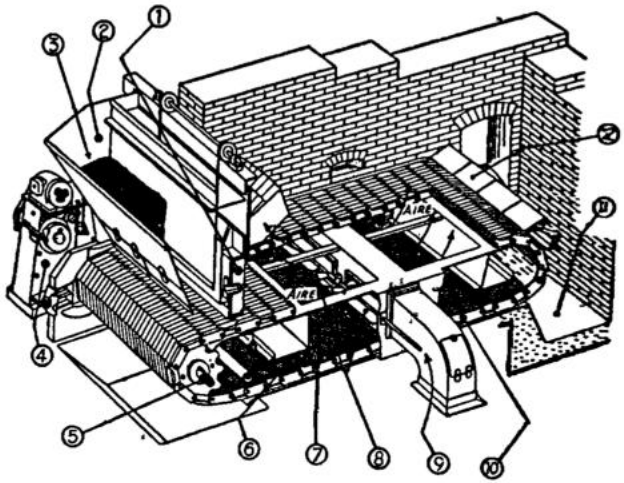


Fig. 15-IV. Emparrillado de cadena sin fin Babcock y Wilcox.

1. Puerta del hogar.
2. Tolva.
3. Carbón.
4. Mecanismo de accionamiento.
5. Arbol del motor.
6. Elemento de estanqueidad.
7. Primera caja de soplado.
8. Registro.
9. Aire.
10. Segunda caja de soplado.
11. Cámara de escorias.
12. Rasqueta.
13. Aire.

15. HOGARES DE PARRILLA INCLINADA

En la fig. 16-IV se observa al emparrillado Westinghouse-Roney. El carbón pasa de la tolva al hogar, movido por un mecanismo de empuje con el cual también se puede regular la cantidad de combustible que se introduce.

El carbón permanece, primero, sobre la chapa de coquización donde se realiza la transformación conocida. Cuando el mecanismo de empuje introduce una nueva cantidad de carbón, el que había entrado anteriormente pasa sobre la parrilla y es obligado a trasladarse hacia adelante y hacia abajo debido al movimiento recíproco de las barras del emparrillado.

El movimiento del mecanismo cargador y de las barras se obtiene con un eje provisto de excéntricas accionadas por un motor eléctrico o por una máquina de vapor.

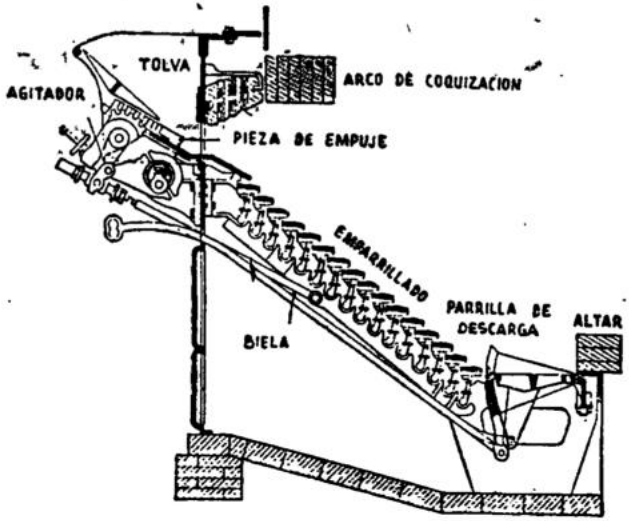


Fig. 16-IV. Emparrillado Westinghouse-Roney.

16. HOGARES DE PROYECCION

Estos hogares están constituidos, esencialmente, como se ve en la fig. 17-IV, por la tolva donde se almacena el combustible, el alimentador que regula el paso del mismo y el distribuidor de proyección que arroja el carbón a la parrilla; esta última suele ser del tipo volcable, movida a mano o automáticamente para eliminar las escorias. El distribuidor consta de cuatro palas dispuestas sobre un eje y desplazadas una con respecto a la otra y están diseñadas para que un par arroje el combustible hacia la derecha y el otro par opuesto hacia la izquierda.

Estos tipos de hogares se emplean generalmente para quemar carbón en trozos pequeños, siendo el emparrillado no muy grande. Requieren carbón cribado en trozos de tamaño uniforme para su buena distribución sobre la parrilla.

17. HOGARES CON CARGADOR DE EMPUJE Y DE TORNILLO SIN FIN

Aquí el carbón penetra al hogar en pequeñas cantidades empujado por un pistón o un tornillo.

Supongamos que el pistón o el tornillo, fig. 18 y 19-IV, ha empujado carbón en la parte inferior de la retorta *A*.

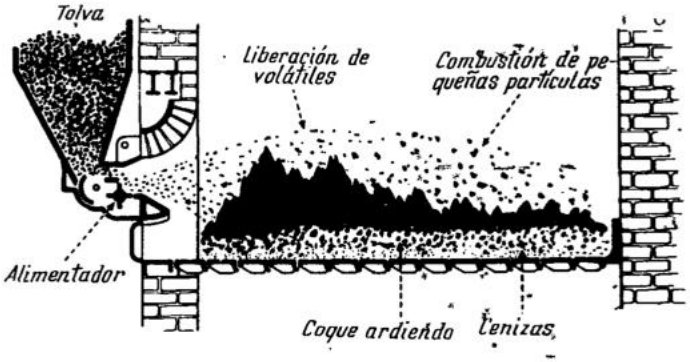


Fig. 17-IV. Emparrillado de protección.

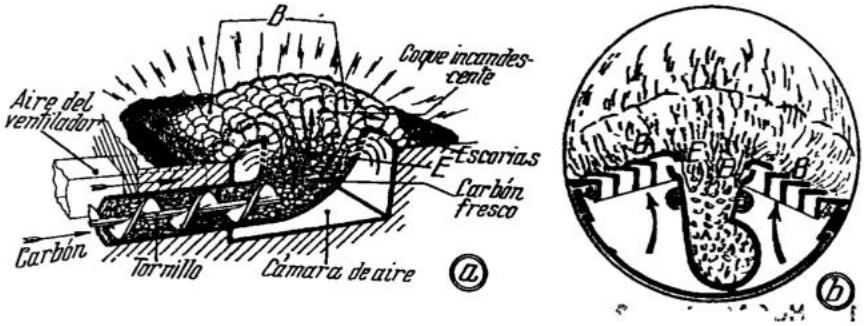


Fig. 18-IV. Hogar alimentado por tornillo sin fin.

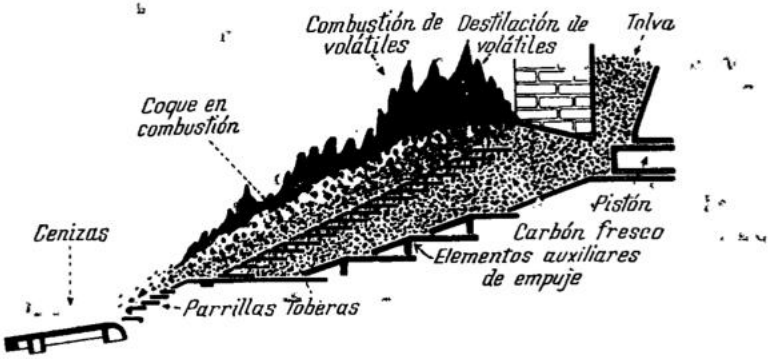


Fig. 19-IV. Hogar alimentado por cargador de empuje de pistón

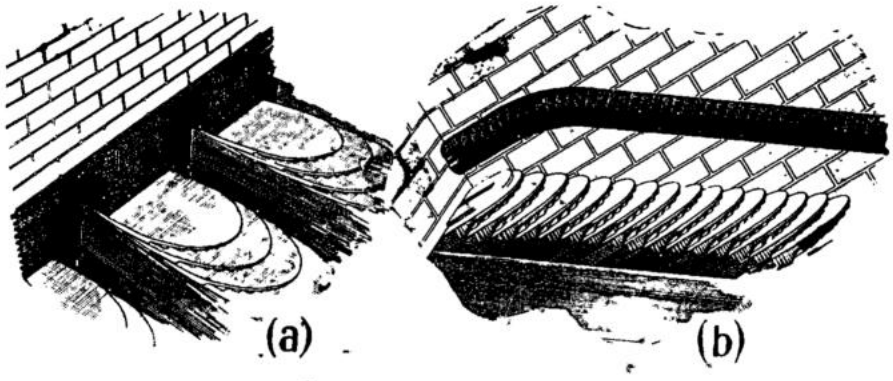


Fig. 20-IV. Detalles del emparrillado de empuje por piston. a) Cajas de aire que envían una corriente continua de aire a través de la pared frontal del "stoker". b) Toberas laterales de aire con lo que se reduce la formación de clinker sobre las paredes. Véase además, como están colocados los elementos de parrilla.

Como consecuencia de ello desbordará una cierta cantidad del mismo en *B*, que se distribuirá sobre la parrilla; esta operación se repite a medida que el combustible se consume, dependiendo la cantidad empujada de la producción de vapor.

En *E*, debido a la radiación del hogar, el carbón destila y coquiza y como allí existe una atmósfera rica en oxígeno, los hidrocarburos queman fácilmente. La fracción no quemada en ese lugar tendrá oportunidad de hacerlo cuando asciende y pasa por las capas de carbón incandescente, lo que evita la formación de hollín.

En *B* desborda el coque producido en *E* que irá quemando a medida que los sucesivos empujes lo hagan correr sobre el emparrillado hasta convertirse en cenizas. En la fig. 21-IV puede verse un corte a través de otro hogar de alimentación por debajo.

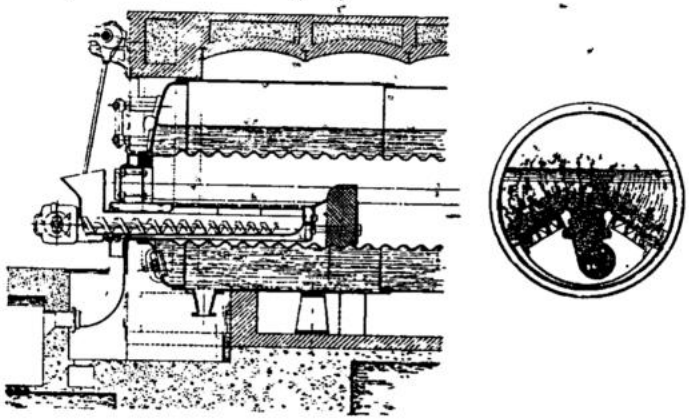


Fig. 21-IV. Otro hogar alimentado por tornillo sin fin.

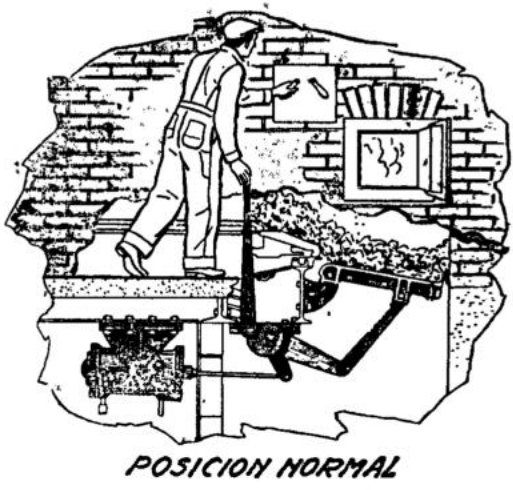


Fig. 22-IV *a* y *b*. Las dos primeras fases de la limpieza y descarga de escorias y cenizas en un hogar mecánico.

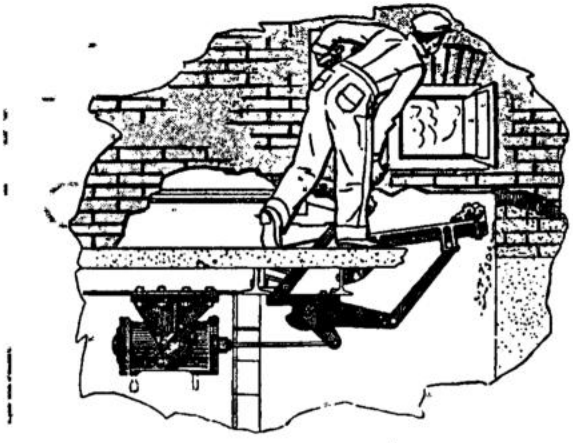


Fig. 22-IV *c*. Ultima fase de limpieza de ese hogar con el aire.

18. HOGARES DE POLVO DE CARBON

Para su combustión, el carbón finamente pulverizado se introduce en el hogar mediante una corriente de aire, y allí se inflama como consecuencia de la elevada temperatura reinante. El hecho de pulverizar el carbón para quemarlo tiene sus ventajas.

Los hogares descriptos anteriormente, ya sean cargados a mano o mecánicamente adolecen del inconveniente de que los trozos de carbón que deben quemar son relativamente grandes, y además se aglomeran exigiendo un mayor exceso de aire para que la combustión sea óptima.

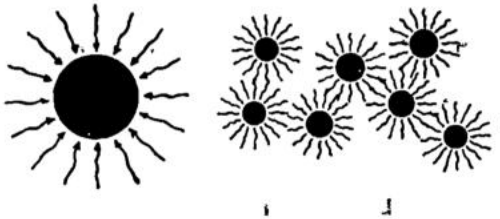


Fig. 23-IV. Al subdividir el carbón aumenta la superficie de contacto.

Para que el exceso de aire sea menor y se eleve así el rendimiento del hogar debe realizarse la mezcla íntima del combustible con el aire, aumentando la superficie de contacto entre ambos, lo que se consigue convirtiendo al primero en pequeñas partículas.

Un ejemplo dará idea de como aumenta aquella superficie de contacto al pulverizar el carbón. Un cubito de carbón de 10 mm de lado ofrece al aire una superficie de contacto de 6 cm^2, mientras que una vez subdividido en pequeños

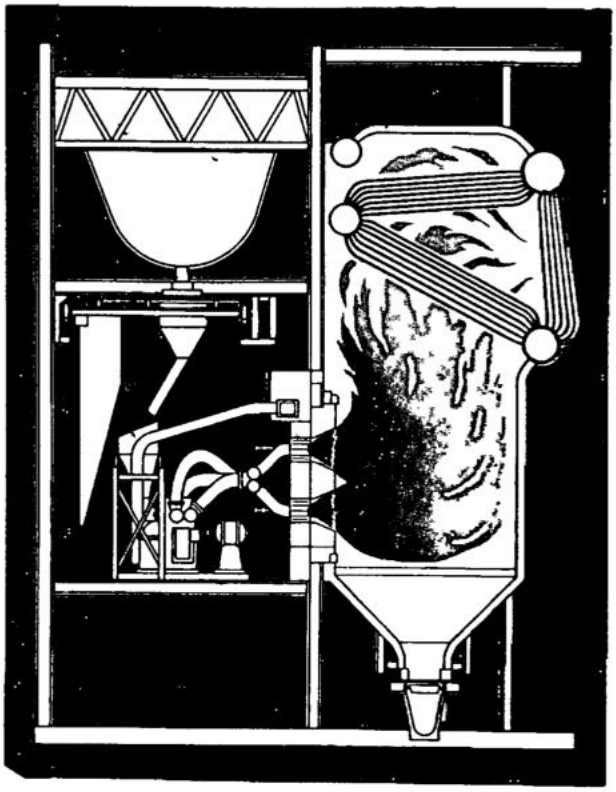


Fig. 24-IV. Vista de un hogar de carbón pulverizado con la instalación para pulverizar el carbón y los quemadores.

trozos de 1/25 mm de lado, la superficie total expuesta al aire es 2.50 veces mayor.

La forma como quema el carbón pulverizado se asemeja a la combustión del petróleo o de los gases.

19. PREPARACION DEL CARBON

El carbón, desde que sale de la mina hasta que llega al quemador que lo introduce en el hogar, está sometido a un conjunto de operaciones entre las que puede citarse a las siguientes:

a) *Roturación.* – Se rompe el carbón en máquinas roturadoras o quebrantadoras que lo convierten en trozos de 10 a 40 mm de diámetro, fig. 25-IV.

b) *Secado.* – Como es difícil pulverizar el carbón si está húmedo, pues se apelmaza, es decir, se pegan entre sí los distintos trozos, hay que calentarlo antes de su llegada al molino para eliminar la humedad.

CENTRO PROTECTOR MONTEVIDEO

c) *Pulverización.* – Es la operación por la cual se convierte los trozos de carbón seco, que provienen del roturador, en partículas extremadamente finas.

La pulverización se realiza en molinos del tipo de bolas, de rodillos o de martillos (de impacto).

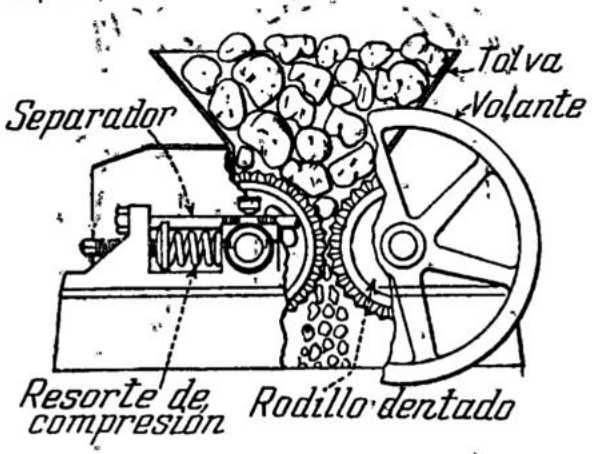


Fig. 25-IV. Roturador de carbón.

20. MOLINOS

a) *Molino de bolas.* – Consiste, figura 26-IV, en un cuerpo cónico-cilíndrico de acero resistente al desgaste. Sus dos bases son también cónicas con el objeto de rechazar las bolas. En el interior del molino existe una cierta cantidad de bolas de acero que son arrastradas conjuntamente con el carbón en el sentido de rotación, y que al caer producen la rotura y pulverización ulterior del carbón, fig. 26-IV *a*.

El aire a la temperatura de 180° C a 220° C y algunas veces hasta 260° C que atraviesa el molino, fig. 27-IV, seca la carga y la arrastra hasta el clasificador situado un poco por encima de la entrada de alimentación del molino.

En el tubo que se encuentra a la salida del cuerpo cónico se halla la espiral de retorno que gira conjuntamente con el molino arrastrando nuevamente hacia el interior de aquél las partículas gruesas.

El extractor constituido por un ventilador centrífugo, movido por un motor de velocidad variable, extrae el carbón y el aire caliente, que constituye el *aire primario*, necesario para la ignición y comienzo de la combustión.

b) *Molino de rodillos.* – En la fig. 28-IV se observa un corte a través de un molino de rodillos. En este molino el carbón cae desde la tolva al centro de la *escudilla* a través de un alimentador. El eje de los rodillos es fijo mientras que la escudilla y aquéllos giran.

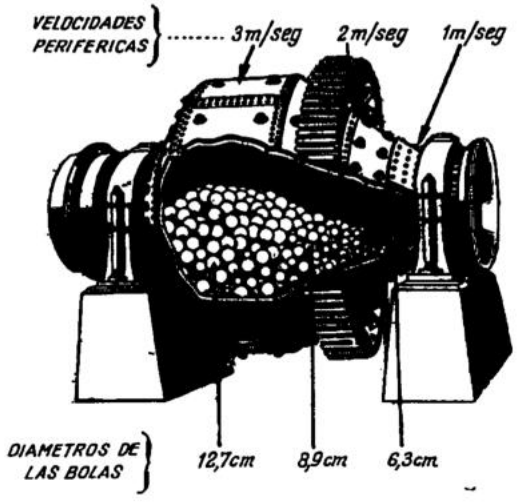


Fig. 26-IV. Molino de bolas.

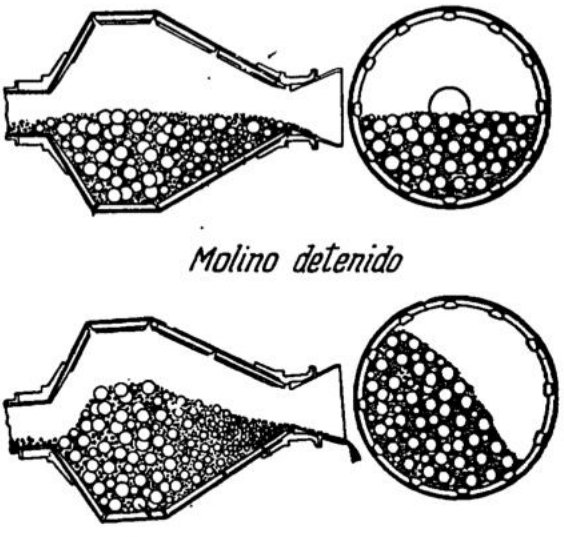


Fig. 26-IV *a*. Dos posiciones de un molino de bolas. A la derecha se ve cómo el carbón es golpeado por las bolas en su movimiento de caída.

Debido a la fuerza centrífuga el carbón asciende por la inclinación del anillo de molido, fig. 29-IV, y es mólido al quedar aprisionado entre el anillo y el rodillo.

Las partículas más pequeñas y las medianas siguen ascendiendo hasta abandonar la escudilla y ser arrastradas por la corriente de aire que las lleva al

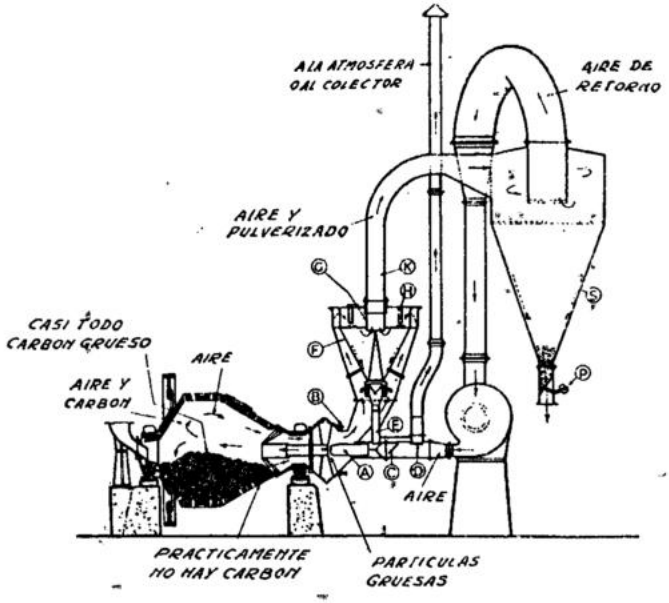


Fig. 27-IV. Instalación para pulverizar carbón con molino de bolas.

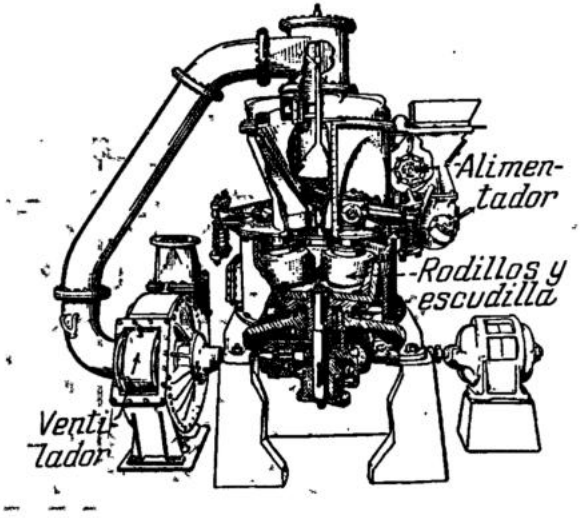


Fig. 28-IV. Molino de rodillos (*Combustion Engineering*).

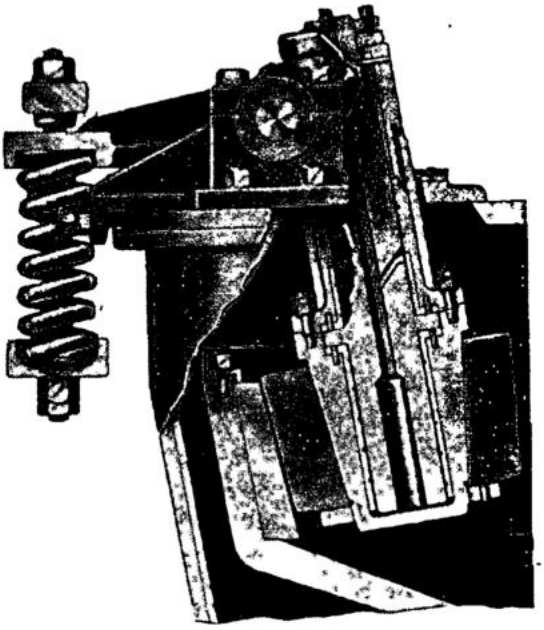
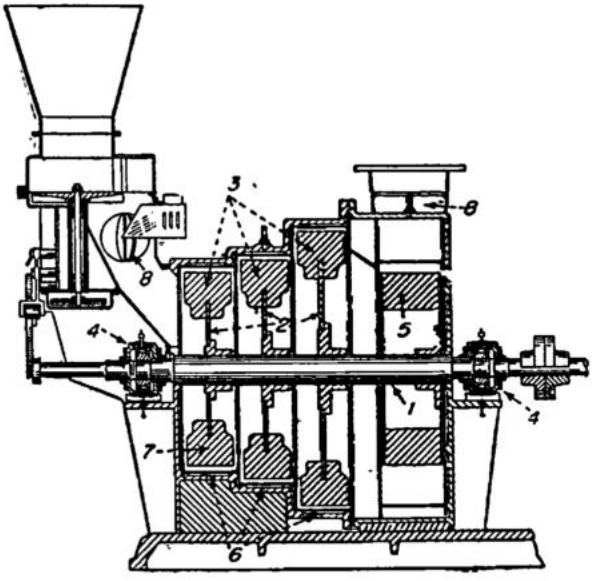


Fig. 29-IV. Detalles del rodillo y de la escudilla de un molino de rodillos.



1. Arbol.
2. Discos.
3. Martillos de pulverización.
4. Cojinetes de auto centrado, a prueba de polvo.
5. Ventilador.
6. Forro renovable.
7. "Bolsillo" trampa.
8. Registro para regular el flujo de aire primario

Fig. 30-IV. Pulverizador de impacto Unitype.

clasificador para ser separadas. Desde allí los trozos más pequeños son arrastrados por la corriente que los lleva al secador, cayendo nuevamente las partículas más grandes al molino, donde sufren un nuevo proceso de pulverización.

c) *Molino de impacto.* – El carbón después de abandonar el alimentador, fig. 30-IV, pasa sobre la cara de un electroimán que retiene el material magnético que puede estar mezclado con el carbón. La pulverización se cumple progresivamente, en las tres cámaras sucesivas indicadas en la fig. 30-IV, por la acción de los martillos. Las cámaras de pulverización están separadas por diafragmas de acero. Las dimensiones de las aberturas de los diafragmas son tales, que solamente permiten el paso de los trozos de carbón de dimensiones adecuadas a las características de la cámara siguiente. La extracción del polvo de carbón de partículas del tamaño requerido se consigue haciendo pasar por el molino una corriente de aire de velocidad apropiada. Existen registros de aire para variar su velocidad y obtener el grado deseado de pulverización mientras funciona el molino.

21. QUEMADORES

El carbón pulverizado es arrastrado por aire caliente desde el molino hasta el quemador, fig. 27-IV y 34-IV. Este aire que arrastra el carbón recibe el nombre de *aire primario.*

A los costados del quemador y por ciertas aberturas del hogar penetra también aire, es el aire que se necesita para concluir la combustión o sea lo que se llama el *aire secundario.*

Los quemadores se disponen de modo que la corriente de carbón pulverizado y el aire primario adquieran un movimiento turbillonario, fig. 33-IV, pues así se renueva constantemente el aire alrededor de cada partícula de carbón, se eliminan las cenizas y los gases de su combustión que por ser gases inertes imposibilitarían que ésta continúe en forma normal.

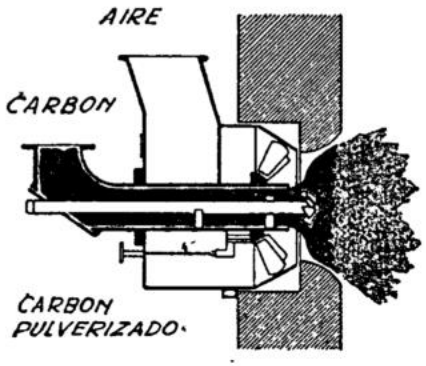


Fig. 31-IV. Quemador de carbón pulverizado.

22. VENTAJAS DE LA COMBUSTION DEL CARBON PULVERIZADO SOBRE LA COMBUSTION EN PARRILLAS

Con el carbón pulverizado es más fácil obtener una mezcla apropiada del combustible con el aire y reducir apreciablemente el exceso de este último con el consiguiente aumento de la temperatura y del rendimiento del hogar. Además, con hogares bien diseñados se tiene mayor libertad para la elección del carbón.

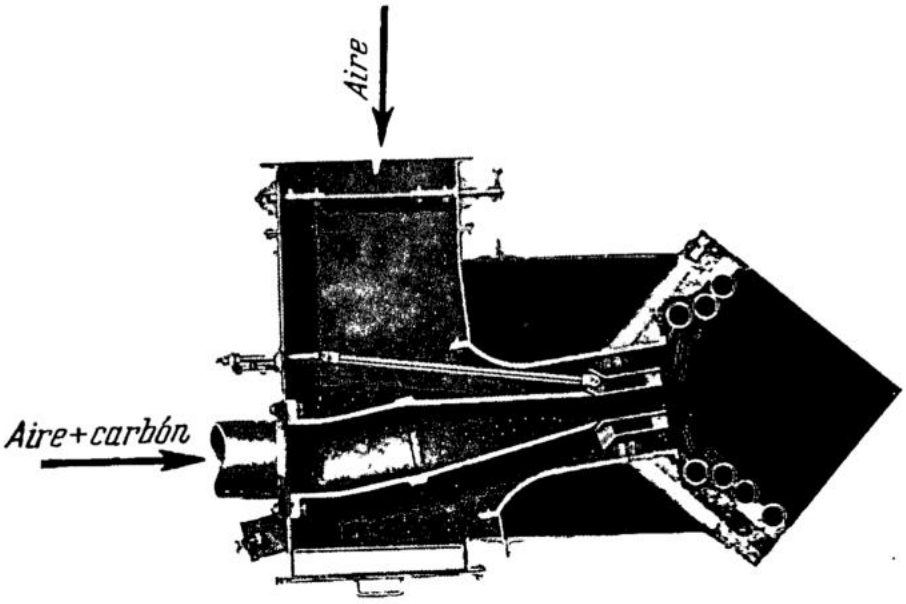


Fig. 32-IV. Vista de un quemador tangencial con su tobera regulable (Gentileza Combustion Engineering Co.).

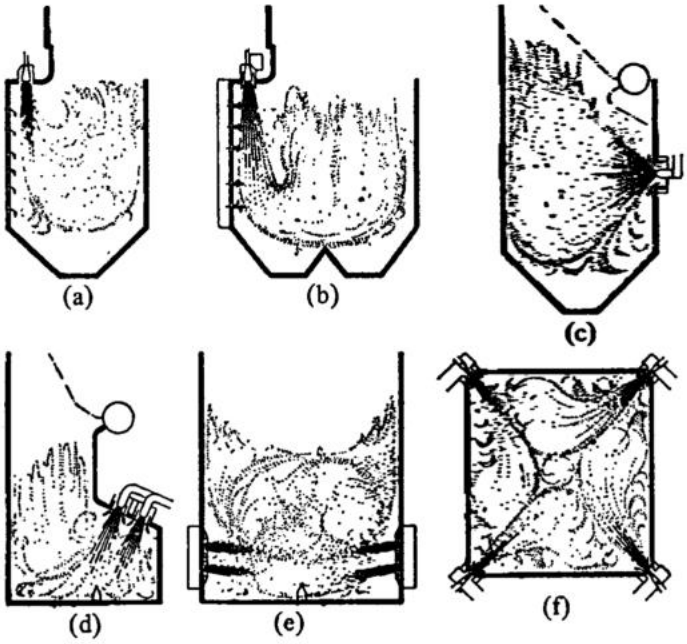


Fig. 33-IV. Distintas formas de obtener la turbulencia en hogares de carbón pulverizado.

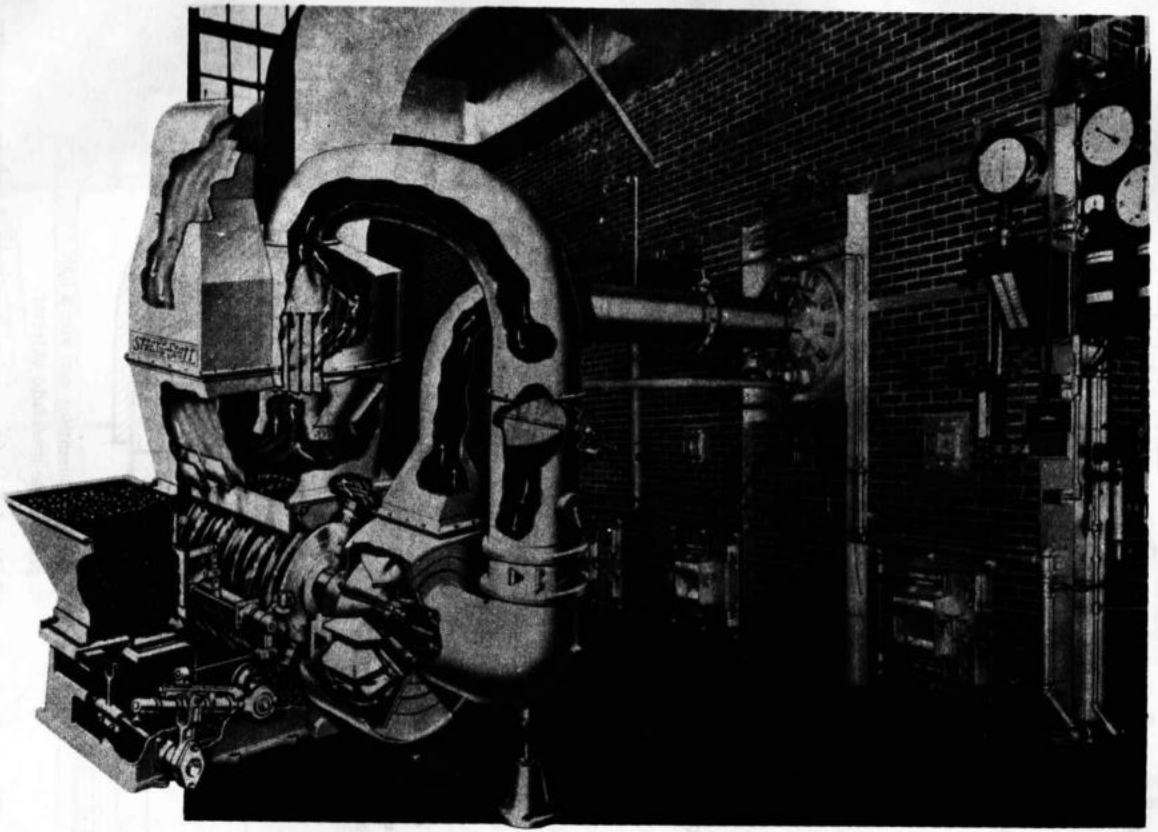


Fig. 34-IV. Vista de una unidad pulverizadora de carbón instalada en la sala de calderas.
(Gentileza de The Strong-Scott Mfg. Co.).

Como desventaja puede citarse el hecho de que algunos carbones forman escorias que se pegan a los tubos de las calderas y a las paredes del hogar y que casi siempre se tiene más cenizas en la chimenea.

23. HOGARES DE PETROLEO Y GAS

A semejanza del carbón pulverizado la forma más correcta de quemar el petróleo, consiste en subdividirlo en un gran número de pequeñas gotas que al aumentar su superficie de contacto, por unidad de peso, facilitan la combustión y permite obtener las mismas ventajas ya citadas al hablar del carbón pulverizado.

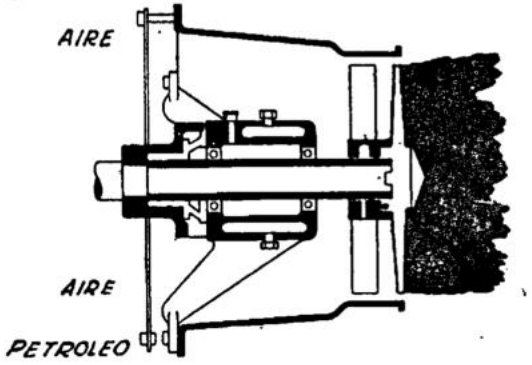


Fig. 35-IV. Quemador de petróleo.

Para obtener la pulverización del petróleo se recurre a los quemadores, cuya función es introducir el petróleo en el hogar al mismo tiempo que lo pulverizan.

Los sistemas principales que se emplean para pulverizar el petróleo son:

1) la pulverización con aire o con vapor;
2) la pulverización mecánica o sólida.

a) *Pulverización con aire y con vapor.* En la fig. 36-IV se ve un quemador en el cual la pulverización se consigue mediante aire a baja presión. La pulverización se produce fuera del quemador al chocar las dos corrientes fluidas, se trata de un quemador de mezcla exterior.

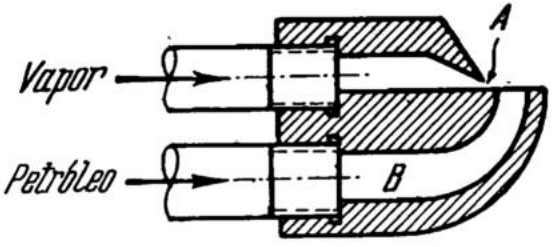


Fig. 36-IV. Quemador con aire a baja presión, de mezclado exterior.

En el de la fig. 37-IV el petróleo es pulverizado también con aire a baja presión, pero la mezcla se hace en el interior del mismo.

Las figs. 38-IV y 39-IV representan a dos quemadores de presión elevada, que pulverizan el petróleo utilizando aire o vapor indistintamente. El primero es

de mezcla interior, el segundo de mezcla exterior.

En el de la fig. 38-IV fabricado por la Coen Company, la mezcla de ambos fluidos se produce debido al movimiento rotatorio que ellos adquieren, pasando luego por los conductos situados a la salida, que permiten obtener, de acuerdo con el diseño, una llama cónica o achatada. El quemador de la figura 39-IV es del tipo Shutte y Köerting que proporciona llama de forma cónica o aplanada.

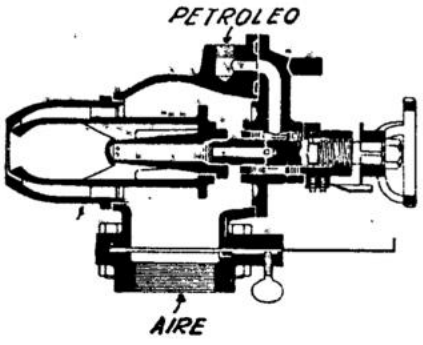


Fig. 37-IV. Quemador con aire a baja presión de mezclado interior.

En el quemador de copa rotatoria de la Todd Shipyards Corp., fig. 40-IV la atomización se obtiene enviando el combustible en una copa cilíndrica de atomización que gira a 3.400 v/min directamente conectada al motor que acciona al ventilador de aire primario. Debido a la fuerza centrífuga el petróleo se mueve sobre la pared interior de la copa y se reparte uniformemente sobre la lámina de petróleo convirtiéndola en partículas muy pequeñas;

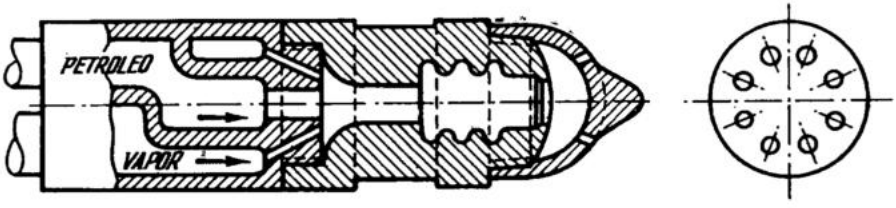


Fig. 38-IV. Quemador de mezclado interior que utiliza aire o vapor a presión elevada.

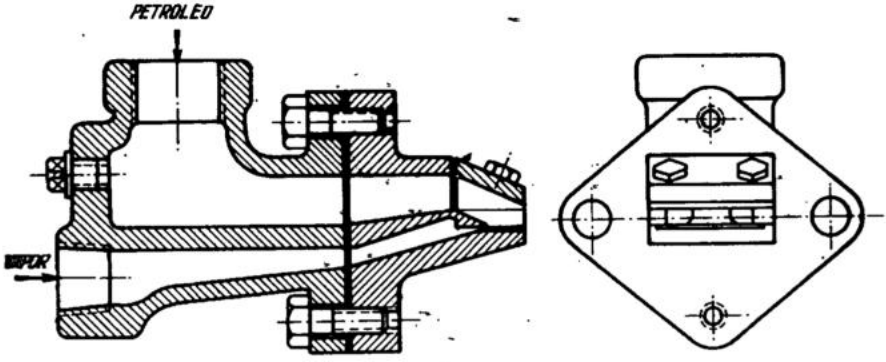


Fig. 39-IV. Quemador de mezclado exterior que utiliza aire o vapor apresión elevada.

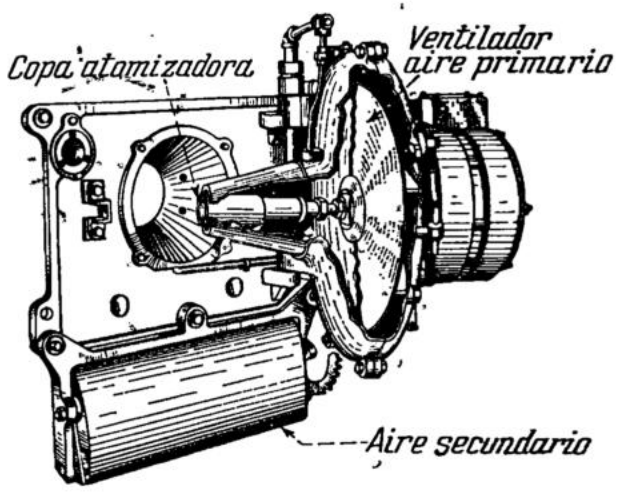


Fig. 40-IV. Quemador de copa rotativa (*Todd Shipyards Corp.*)

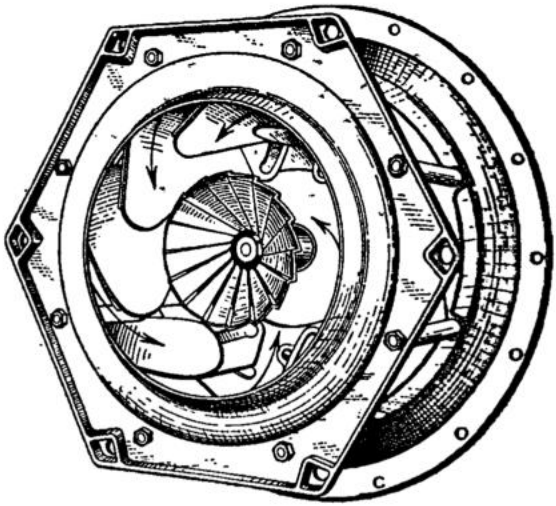


Fig. 41-IV. Registro para el control de aire de un quemador de petróleo visto desde el hogar (*Todd Shipyards Corp.*)

la mezcla de aire y de combustible finamente subdividido penetra al hogar. El aire secundario es suministrado por los registros que se encuentran debajo del quemador y por otras aberturas convenientemente ubicadas en las paredes del hogar.

Para controlar la velocidad y dirección de la corriente de aire, y para que éste envuelva a la llama y le imparta un movimiento de rotación

alrededor de aquélla se emplean los registros de aire o equipos de mezclado del aire.

En el quemador Fulvap, fig. 42-IV, de patente argentina, el vapor que emerge de las toberas a elevada velocidad pasa sobre los tubos verticales que se ven en el frente del quemador, y que comunican con el recipiente de petróleo de nivel constante. La depresión producida en ellos aspira el petróleo que al emerger de dichos tubos es pulverizado por el impacto de la corriente de vapor de gran energía.

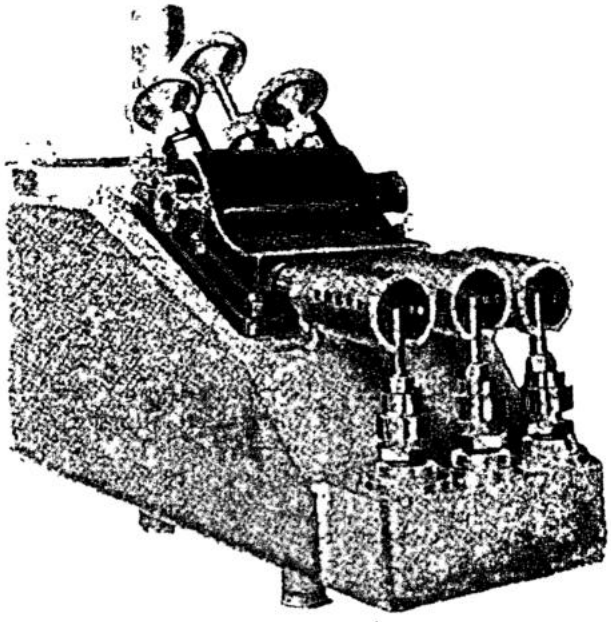


Fig. 42-IV. Quemador de petróleo Fulvap de patente argentina.

La pulverización con aire a alta presión, de 3 a 6 kg/cm^2, la única que prácticamente se emplea en las calderas, es de rendimiento elevado, pero tiene el inconveniente de exigir la instalación de compresores que siempre resulta onerosa y cuyo consumo de vapor es igual aproximadamente a 1/10 del que requiere la máquina motriz principal.

Comparados con los quemadores que funcionan con vapor puede pensarse que la ignición es más fácil, pero en la práctica acontece lo contrario, debido a que al expandirse el aire se enfría y dificulta la ignición. Estas instalaciones suelen originar un rumor fastidioso debido a la sucesión de las rápidas igniciones y extinciones que se producen en el lugar donde empieza a quemar el petróleo.

Desde el punto de vista económico es más conveniente el uso del vapor.

Cuando se utiliza vapor, su presión debe ser de 3 a 4 atm, por eso se requiere el empleo de reductores de presión que permiten utilizar el vapor de la caldera para accionar el quemador.

El vapor ha de ser seco, pues en caso contrario la continuidad de la operación se ve interrumpida por las gotas de agua.

Se requiere, según los quemadores, un consumo de vapor que oscila entre 0,3 y 0,5 kg por cada kg de petróleo a pulverizar.

B) *Pulverización mecánica.* – Se puede pulverizar petróleo sometiéndolo a presión y haciéndolo pasar por pequeños orificios tangenciales que le comunican un movimiento en forma de hélice.

La fig. 43-IV representa la extremidad de un quemador de pulverización mecánica. El petróleo a presión que llega por el conducto C penetra por los

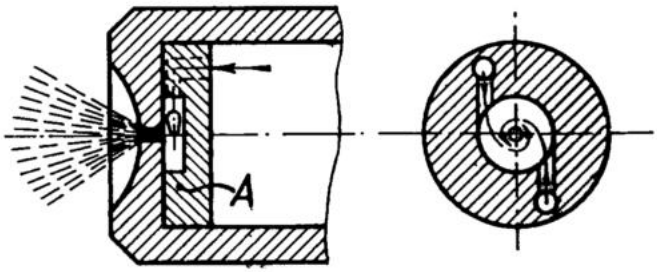


Fig. 43-IV. Extremidad de un quemador de pulverización mecánica.

canales D a la cámara A y adquiere allí un movimiento rotatorio debido a la ubicación tangencial de esos conductos con respecto a la cámara. Finalmente, al pasar por el orificio de salida B el petróleo adquiere el movimiento helicoidal, o en forma de hélice de que ya se habló, que resulta de la rotación que experimenta en A sumada a la traslación que sufre en B. El tamaño de las gotas depende de la presión con que se envía el petróleo, de su temperatura y viscosidad como así también de las dimensiones y forma del quemador.

El quemador Kermonde representado en la fig. 44-IV está basado en ese principio; el petróleo se inyecta con presiones que varían entre 7 y 11 kg/cm^2 de acuerdo con la viscosidad del petróleo.

En la marina se utilizan con preferencia los quemadores de pulverización mecánica dado que no requieren gasto de vapor. Se adaptan generalmente para

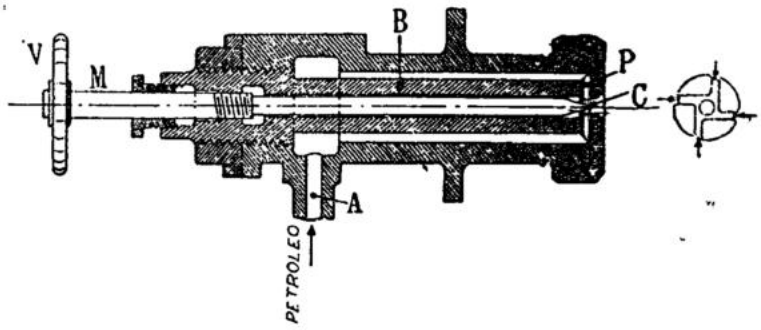


Fig. 44-IV. Corte por un quemador Kermonde de pulverización mecánica.

las grandes instalaciones debido a la capacidad requerida y a la mayor economía que reportan.

El combustible debe ser casi siempre precalentado para que su viscosidad disminuya hasta el punto que permita obtener una buena pulverización.

24. VENTAJAS DE LA PULVERIZACION MECANICA

Entre las ventajas de la pulverización mecánica pueden señalarse las siguientes:

a) La manutención del equipo cuesta poco porque no hay motores, turbinas u otros elementos de impulso.

b) No se requiere gasto de vapor ni la instalación de compresores de aire. sólo se necesita como en los casos anteriores la bomba para inyectar el petróleo, que es de potencia relativamente pequeña.

c) No existen cañerías que deban conducir aire o vapor a presión.

d) No produce ruido durante su funcionamiento.

e) La llama es más corta que cuando se usa vapor y por lo tanto, el hogar resulta más pequeño.

f) Se puede *levantar* la presión de la caldera iniciando el funcionamiento del quemador con una bomba de mano.

25. INCONVENIENTES DE LA PULVERIZACION MECANICA

La pulverización mecánica adolece de los siguientes inconvenientes:

a) Hay que limpiar con frecuencia los orificios y discos de pulverización que se obstruyen al carbonizarse el petróleo.

b) El equipo es más caro que el de otros sistemas debido a la instalación de caños y bombas para las altas presiones a que debe someterse el petróleo.

c) Se produce el goteo de petróleo sobre la platea del hogar, lo que origina humo.

d) Cuando la presión de inyección es muy grande (20 atm en algunos casos), puede fluir petróleo a través de las uniones de las cañerías con el consiguiente peligro de incendio.

26. VENTAJAS DEL EMPLEO DE COMBUSTIBLES LIQUIDOS

1) A igualdad de calorías almacenadas el peso de petróleo es 30% menor que el de carbón y el volumen que ocupa un 50% más pequeño. Esto es ventajoso especialmente en las instalaciones marinas.

2) Además, el depósito de combustible puede instalarse lejos de la caldera evitándose los peligros de incendio.

3) No se producen combustiones espontáneas como en el caso del carbón.

4) El almacenamiento es rápido y fácil, lo mismo que el embarque que se realiza con bombas, sin fatiga para el personal y sin ensuciar la embarcación.

5) Reporta economía de personal, pues siendo automático el funcionamiento bastan pocos fogoneros para vigilar la marcha del fuego.

27. HOGARES PARA QUEMAR PETROLEO

En las figs. 45-IV, 27-VI y D-VI se observan hogares para quemar petróleo. Los quemadores se ubican en el frente del hogar y el aire, necesario para la combustión, penetra por las ventanas practicadas alrededor de aquellas y por aberturas realizadas en las paredes.

En la fig. 45-IV se indica la disposición general de un equipo quemador de petróleo instalado a bordo de una locomotora.

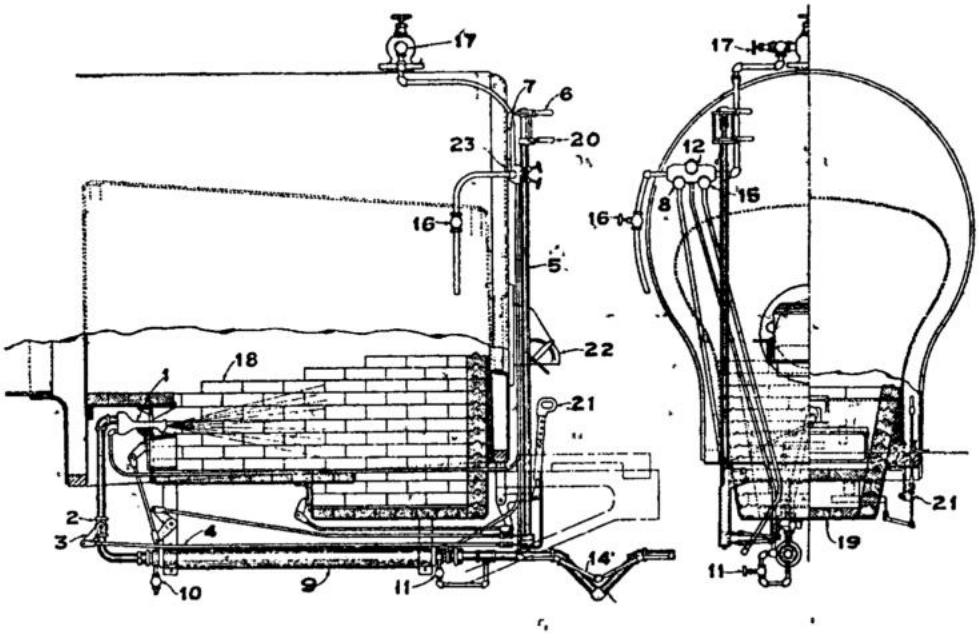


Fig. 45-IV. Disposición general de un equipo para quemar petróleo a bordo de una locomotora.

28. EQUIPO PARA QUEMAR PETROLEO

Un equipo para quemar petróleo se compone de:

1) Tanque para depósito del combustible.
2) Bombas, cañerías y filtros.
3) Calentador de petróleo.
4) Aparatos de "control".

En la fig. 46-IV se observa una unidad para bombeo y calentamiento del petróleo con sus elementos auxiliares.

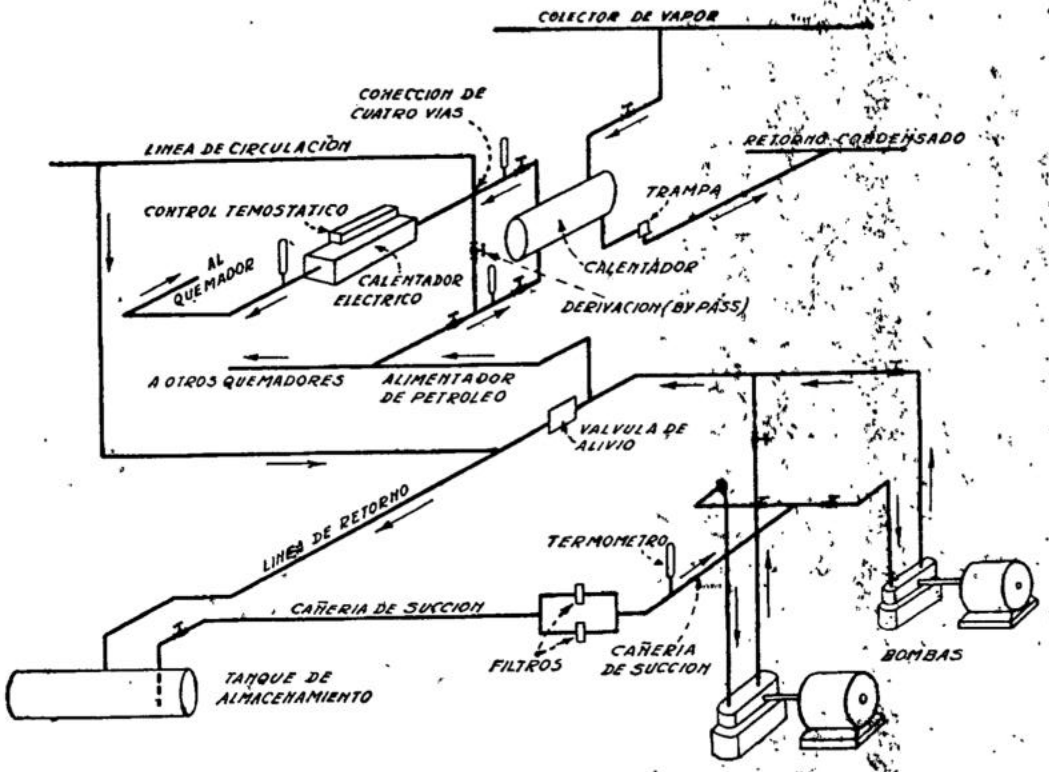


Fig. 46-IV. Diagrama de una instalación para quemar petróleo provista de tanque de almacenamiento, cañerías, calentador, filtros, etc.

CENTRO PROTECCION DE MONTEVIDEO

29. BOMBAS, FILTROS Y CAÑERIAS

Pueden utilizarse las bombas de pistón o de engranajes. Las bombas de pistón, cuya capacidad debe ser 30% superior a la requerida, son accionadas con vapor de la caldera y se emplean principalmente en plantas medianas y grandes.

Las bombas de engranajes son del tipo de engranajes internos o externos o del tipo de "tornillo".

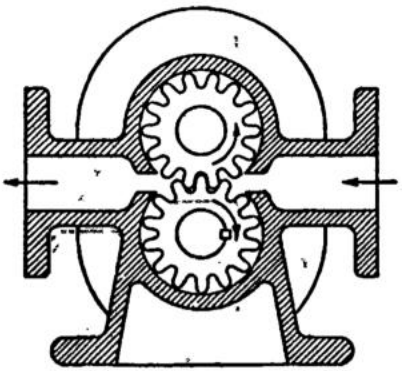


Fig. 47-IV. Bombas de engranajes exteriores. (Cortesía Shutte and Koerting Co.).

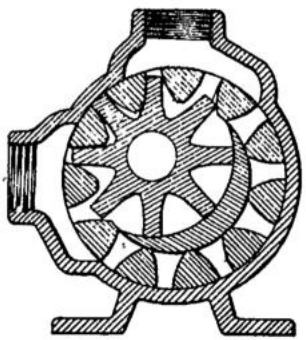


Fig. 48-IV. Bomba Viking de engranajes interiores.

En cuanto a las de engranajes interiores citaremos solamente a la bomba Viking, fig. 48-IV. El engranaje motor exterior engrana con el interior que es loco. El petróleo aspirado llena el espacio entre los dientes de ambos engranajes. Al girar los engranajes, el petróleo que se encuentra entre los dientes del engranaje exterior es aprisionado entre la carcaza y el diafragma en forma de media luna. Lo mismo ocurre con el petróleo que se introduce entre los dientes del engranaje interior del lado de la aspiración.

Cuando los dientes de ambos engranajes vuelven a engranar en el lado de la descarga, el petróleo es expulsado de entre ellos, que actúan como pistones de bombas.

30 CALENTADOR DE PETROLEO

En general, para obtener una buena pulverización es necesario calentar el petróleo, sobre todo en tiempo frío, para disminuir su viscosidad, es decir, para que sea *más liviano*. Se calienta normalmente entre 90 y 100° C. En la figura 49-IV se ve un calentador de petróleo en el cual se utiliza vapor.

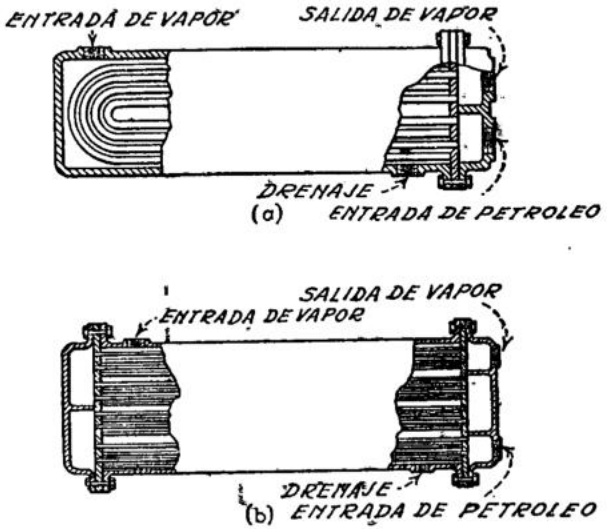


Fig. 49-IV. Calentadores de petróleo: a) de dos pasos; b) de cuatro pasos.

31. FILTROS

En distintos lugares de la cañería de conducción deben instalarse filtros para evitar el paso de partículas sólidas o suciedades que podrían entorpecer el funcionamiento del quemador. En la figura 50-IV se ve un filtro de metal perforado. Otros filtros se construyen con discos de metal, fig. 51-IV.

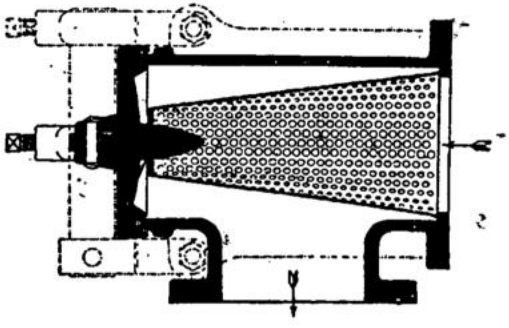


Fig. 50-IV. Filtro de metal perforado.

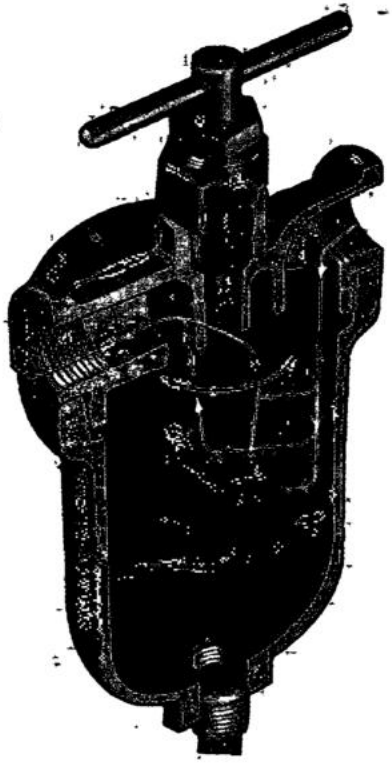


Fig. 51-IV. Filtro del tipo de discos.

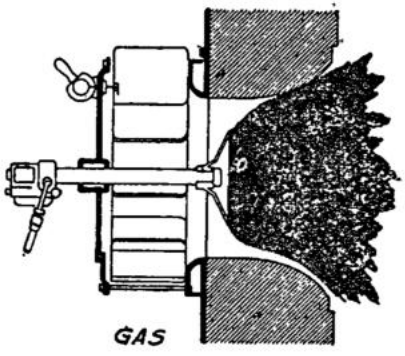


Fig. 52-IV. Quemador de gas

32. QUEMADORES DE GAS

Los quemadores de gas son aparatos relativamente sencillos como puede verse en las figs. 52-IV y 53-IV. Constan de un caño que lleva el gas hasta un anillo, con orificios o toberas en su periferia, por donde el gas es introducido al hogar. El aire primario penetra por el quemador en la misma forma que en los quemadores de petróleo, tratando de conferirle, siempre, un movimiento en forma de torbellino para conseguir así una mejor mezcla del gas con el aire. La cantidad de aire se regula abriendo más o menos esas ventanas.

Generalmente estos quemadores son duales, es decir, están provistos de elementos que les permite quemar petróleo o gas según se convenga, fig. 54-IV.

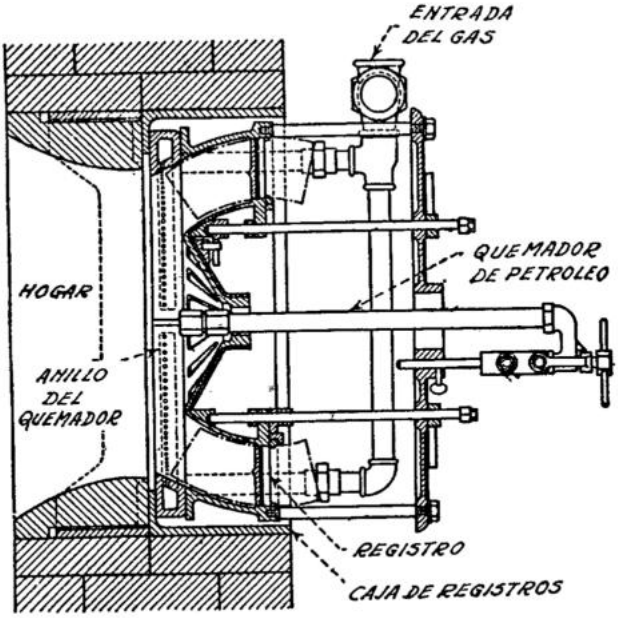


Fig. 53-IV. Quemador de petróleo y gas.

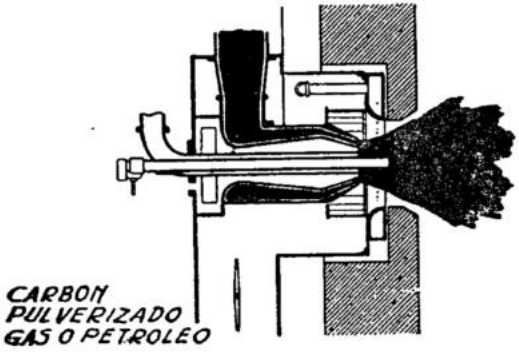


Fig. 54-IV. Quemador de carbón, gas o petróleo.

CAPITULO V

CHIMENEAS Y TIRO

1. EL TIRO[1]

Al quemar un combustible en el hogar de una caldera aquél se llena de productos de la combustión, que como hemos dicho en el Cap. II son gases neutros, es decir, que no sirven para seguir quemando el combustible. Es necesario, entonces, eliminar esa atmósfera gaseosa neutra y hacer penetrar aire nuevo que permita que la combustión prosiga; esto se obtiene en las calderas con el *tiro*.

El gas que se encuentra en el hogar a elevada temperatura y tiene menor peso específico que el aire, es decir es más *liviano* que aquél, tiene tendencia a ascender tal como se explicó al hablar de las corrientes convectivas en el Cap. I. En esa forma, el gas se dirige por los conductos de humo hasta la chimenea, y el lugar que aquél va dejando tras de sí, en el hogar, es ocupado por el aire que penetra por la puerta del cenicero, estableciéndose la corriente que recibe el nombre de *tiro*.

Para comprobar la existencia de esta corriente acérquese a la puerta del hogar o del cenicero una llama. y se verá como ésta trata de introducirse en el hogar al ser aspirada.

Cuando esta corriente se logra en la forma indicada más arriba se habla del *tiro natural*, en cambio, cuando se la obtiene con un ventilador u otro medio recibe el nombre de *tiro artificial*.

2. TIRO NATURAL

En el tiro natural, la chimenea es la encargada de producir ese fenómeno y de descargar los gases a suficiente altura en la atmósfera para que éstos no molesten a la vecindad y sean arrastrados, lejos de los centros poblados, por las corrientes atmosféricas.

[1] Se entiende por *tiro* lo que comúnmente se llama *tiraje*. Esta última palabra está mal empleada, no es castellana y no figura en el diccionario de la Real Academia Española.

El tiro natural, o aspiración provocada únicamente por la chimenea, debe ser suficiente para vencer todas las resistencias opuestas al movimiento del aire y de los gases de la combustión.

El aire encuentra resistencia al penetrar por la puerta del cenicero y al atravesar el emparrillado y la capa de carbón. Los gases encuentran resistencia al moverse entre los tubos de la caldera, en los conductos de humo, al atravesar los aparatos recuperadores de calor como ser, el economizador, el calentador de aire, etc. y, finalmente, al moverse por el interior de la chimenea.

La fuerza de aspiración de una chimenea es tanto mas grande cuanto más alta es aquélla y cuanto más calientes son los gases. La cantidad de gas que puede ser aspirada depende de la amplitud de los conductos de humo y del diámetro de la chiminea.

Por eso, al construir una chimenea debe tenerse en cuenta:

a) La cantidad de productos de la combustión, que depende del peso de combustible que se ha de quemar por hora y de la cantidad de aire que ha de emplearse.

b) Todas las resistencias opuestas al movimiento de los gases.

c) Que los gases no deben abandonar la caldera a una temperatura muy elevada, pues ello significa pérdida de calor.

El viento tiene influencia sobre el tiro producido por la chimenea, figs. 1-V y 2-V. Según su dirección puede favorecerlo o entorpecerlo; lo mismo puede decirse de las condiciones atmosféricas.

El viento, cuando está dirigido hacia arriba favorece el tiro, pues al pasar por la boca de la chimenea produce el efecto de aspiración; en cambio, si está dirigido hacia abajo impide la salida de los gases empujándolos hacia adentro.

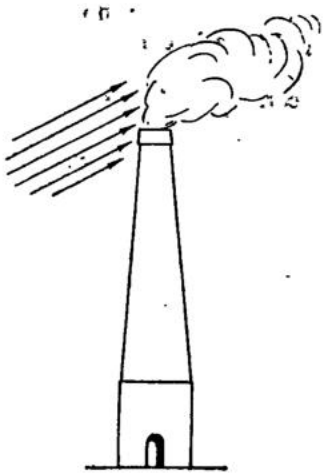


Fig. 1-V. Aquí el viento favorece el tiro.

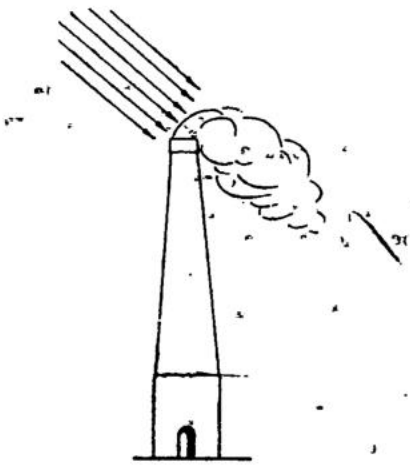


Fig. 2-V. En cambio aquí el viento se opone a la salida de los gases.

Cuando el tiempo está *pesado*, es decir la presión atmosférica es menor que la normal y el aire es *más liviano*, entonces los productos de la combustión tienen menos tendencia a salir, porque la diferencia entre los pesos específicos de estos últimos y del aire es menor.

Las chimeneas se construyen con chapas de acero, de ladrillo o de hormigón armado. Las primeras, fig. 3-V, son generalmente las más baratas y de erección más fácil, pero requieren más cuidado y atención que las otras. Su parte exterior es atacada por los agentes atmosféricos, por eso hay que tenerlas bien pintadas con productos adecuados, mientras que su interior es corroído por los gases de la combustión si no se tiene la precaución de colocarle una protección.

Como el acero es un buen conductor del calor, los gases se enfrían rápidamente en estas chimeneas, disminuyendo entonces el tiro. Este es otro motivo por el cual hay que revestirlas interiormente con un buen aislante del calor. En general, la base de la chimenea donde los gases son más calientes se reviste con ladrillos refractarios, y el resto con ladrillos comunes.

La chimenea de ladrillos, fig. 4-V, es más cara que la de acero pero es de mayor duración y resiste mejor la acción de los agentes atmosféricos. Comúnmente se la hace de diámetro interior constante pero de diámetro exterior decreciente desde la base hasta el tope. En construcciones bien hechas, la parte central de la chimenea es de ladrillos refractarios separada de la exterior por un espacio anular, fig. 5-V, lo que permite la dilatación y contracción de la parte central sin afectar la parte exterior.

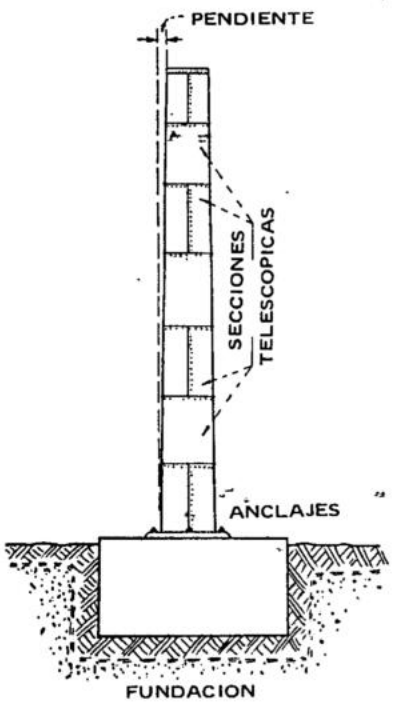


Fig. 3-V. Chimenea de chapas de acero.

También se construyen chimeneas de hormigón armado; son de erección más rápida y muy resistentes debido a los refuerzos de hierro que tiene en su interior. Resultan más livianas que las de ladrillos, y, prácticamente, no existe en ellas grietas por donde puede entrar aire como en el caso de las chimeneas de ladrillos donde hay infinidad de juntas.

Las instalaciones que queman petróleo o gas necesitan chimeneas más bajas, ya que en ellas no existe parrillas ni espesor de combustible que ofrezca resistencia al movimiento del aire. Por eso, al cambiar de combustible en una caldera, es decir, al pasar de uno sólido a otro líquido o gaseoso y viceversa, debe tenerse presente ese detalle.

Cuando el tiro producido por una chimenea es excesivo, por ser ésta demasiado alta, se lo puede reducir colocando un registro.

Las chimeneas deben estar provistas en su interior de una escalera para que pueda ascender un operario y realizar su limpieza. Al pie de la misma debe existir un pozo donde se acumulen las cenizas que la corriente gaseosa no puede arrastrar al exterior, este pozo permite que se acumulen las cenizas y carbonillas sin que se reduzca la sección de paso. Debe haber además en el pie de la chimenea una puerta de entrada para extraer estas acumulaciones.

El tiro natural se regula mediante el registro que puede verse en las figs. 22-VI, 27-VI y 29-VI.

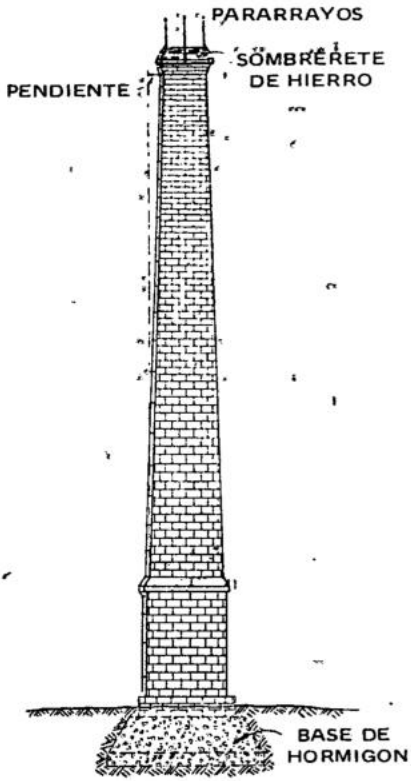


Fig. 4-V. Chimenea de ladrillos

3. TIRO ARTIFICIAL

El tiro artificial consiste en hacer llegar al emparrillado o al hogar el aire necesario para la combustión, utilizando un ventilador u otro medio cualquiera. Ello implica el gasto de cierta cantidad de vapor para producir el movimiento de la columna gaseosa[1], contrariamente al caso del tiro natural con el cual no debe gastarse energía suministrada por la planta generadora de vapor para mover la columna de gases.

Con el tiro artificial se tiene la posibilidad de variar la cantidad de aire que llega al hogar dentro de amplios límites, lo que permite hacer trabajar a las calderas con sobrecargas mucho mayores que con el tiro natural.

El tiro artificial presenta sobre el natural las siguientes ventajas:

a) Es independiente de las condiciones atmosféricas.

b) Se adapta más fácilmente a las variaciones de carga de la instalación aun cuando éstas sean bruscas.

c) Con él pueden quemarse carbones de tipo inferior y baratos que requieren, casi siempre, tiros más fuertes que los que se consiguen con el tiro natural.

d) Se recomienda para quemar carbones menudos, o cuando los

[1] Alrededor de 1 a 5 % del vapor total generado por la instalación, según el tamaño de la misma y el tipo de accionamiento de los ventiladores.

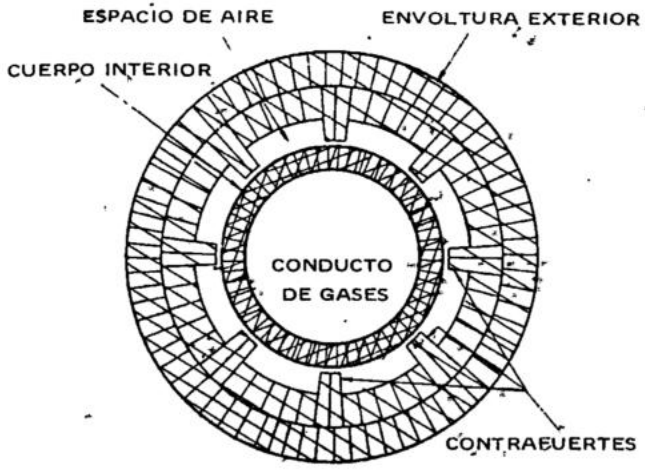


Fig. 5-V. Corte a través de una chimenea de ladrillos.

espesores de la capa de combustible son grandes, pues permite vencer la resistencia que ellos oponen al paso del aire.

El tiro artificial se subdivide en:

a) Tiro forzado, y

b) Tiro aspirado.

4. TIRO FORZADO

Con el tiro forzado se hace llegar el aire a presión por debajo del emparrillado utilizando ventiladores o inyectores de vapor.

a) *Sistema de cenicero cerrado.* – El aire, aspirado del exterior o en la misma sala de calderas por un ventilador, es enviado a presión al cenicero a través de conductos apropiados provistos de registros como se observa en la fig. 6-V (b).

Como la presión en el hogar es superior a la atmosférica, al abrir la puerta de aquel para su limpieza se produce el retorno de llama hacia la sala de calderas que puede quemar al fogonero, motivo por el cual deben existir mecanismos que interrumpan la llegada del aire en esos momentos.

b) *Sistema de cámara cerrada.* – En este sistema figura 6-V (d), se envía el aire a presión en la sala de calderas herméticamente cerrada, dicho aire está obligado a pasar por el hogar puesto que es la única vía de escape disponible.

Como la sala de calderas no debe permitir la salida del aire para evitar variaciones de su presión, las entradas están provistas de doble puertas.

c) *Sistema con eyector de vapor.* – Se puede obtener el tiro forzado instalando aparatos a chorros de vapor, basados en el mismo principio

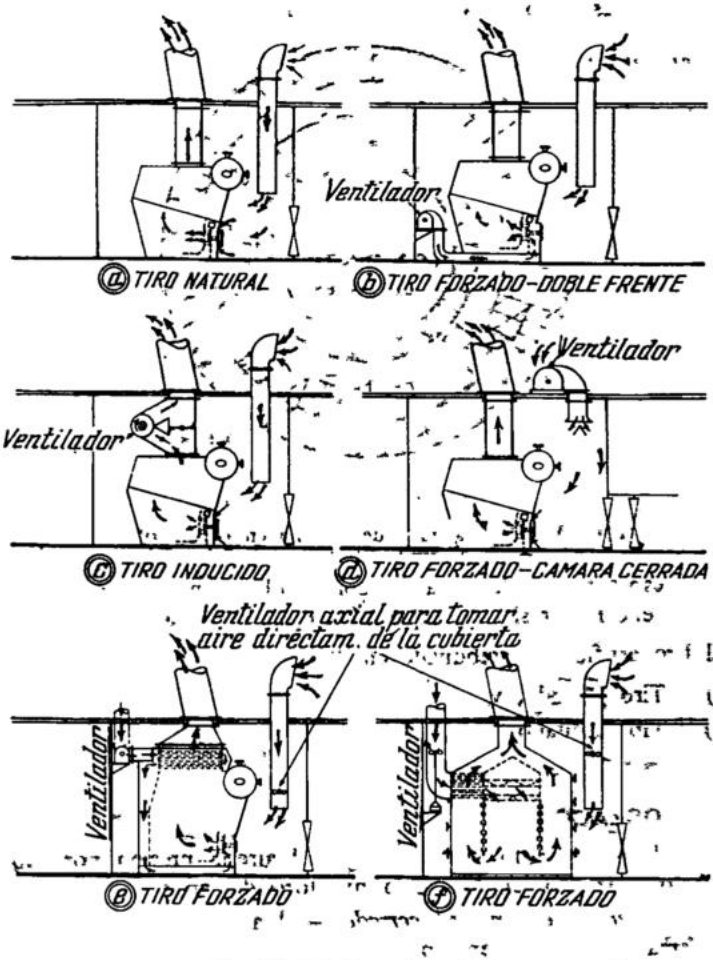


Fig. 6-V. Distintos tipos de tiro.

del inyector de vapor que se describe en el Cap. VII, solamente que en este caso el eyector arrastra aire mientras que en el otro caso debe aspirar agua. La fig. 7-V ilustra sobre el funcionamiento de dichos aparatos.

Este sistema se emplea casi exclusivamente en pequeñas instalaciones provistas de emparrillados especiales para quemar combustibles menudos o de mala calidad. Su instalación, en unidades corrientes que no han sido diseñadas para su empleo, resulta onerosa, y, además, si el combustible quemado es de trozos grandes se producen golpes de fuego que recalientan las chapas. Tiene, sin embargo, la ventaja de que la inyección de aire con vapor asegura el buen enfriamiento de las parrillas e impide que las escorias se adhieran a ellas.

CENTRO PROTECCIONAL DE MONTEVIDEO

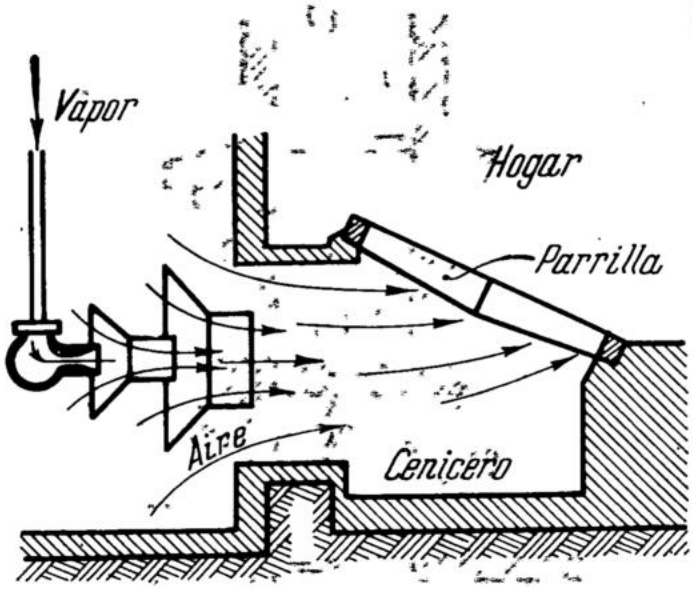


Fig. 7-V. Tiro forzado con eyector de vapor.

5. TIRO ASPIRADO

a) *De aspiración integral.* – En este sistema un ventilador centrífugo instalado en la chimenea fig. 6-V (c), aspira los gases de la combustión. Como estos están calientes, el volumen que ocupan es mucho mayor que el del aire que se utilizó, de ahí que el consumo de potencia sea más grande que con el tiro forzado.

La temperatura de los gases que debe mover el ventilador está comprendida entre 340° y 170° C según que la caldera no esté o esté provista de aparatos recuperadores de calor.

El tiro aspirado presenta la ventaja con respecto al tiro forzado de que durante la operación de carga no se produce retroceso de llama.

b) *Tiro inducido.* – En este caso, la aspiración de los gases no la produce un ventilador que se encuentra en el conducto de humos sino un eyector o tromba que funciona ya sea con aire o con parte de los productos de la misma combustión.

1) *Por medio de vapor.* – La fig. 8-V, da idea del funcionamiento de este tiro. El vapor pasa por un conjunto de eyectores o toberas donde adquiere gran velocidad, produciendo una depresión o vacío que aspira los gases de la combustión arrastrándolos luego hacia el exterior.

Este sistema se aplica principalmente en las calderas de locomotoras, donde, para producir el tiro, se utiliza el vapor que escapa de los cilindros de la máquina.

2) *Por medio de aire o con gases de la combustión. Tiro sistema Prat.* – En este sistema de tiro inducido se inyecta en la chimenea aire o parte de los gases de la combustión, en vez de vapor como se hacía en el caso anterior.

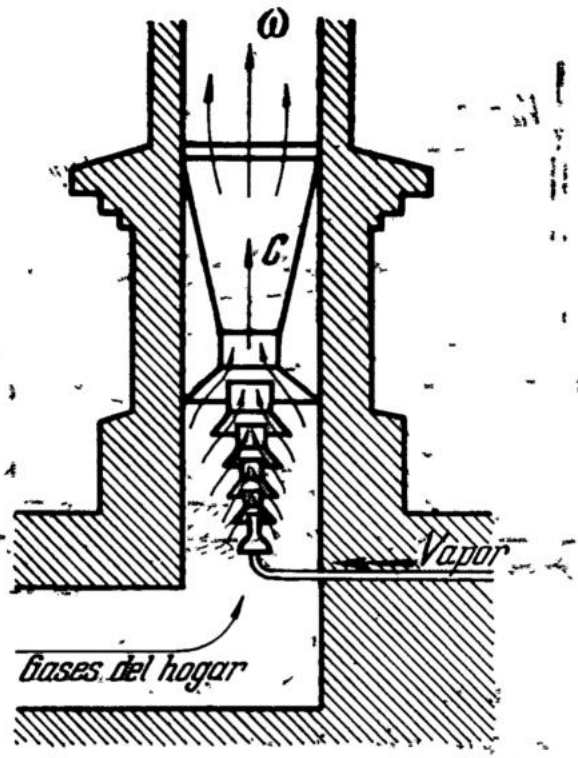


Fig. 8-V. Tiro inducido mediante eyectores de vapor.

En la fig. 10-V, puede observarse la disposición de las dos variantes de este sistema. Las chimeneas son de forma troncocónica, con su base menor hacia abajo, para que el movimiento de los gases se produzca con el mínimo de pérdidas. Los ventiladores hacen llegar el fluido a la base del cono con cierta velocidad, de manera que el conjunto actúa como un inyector determinando la aspiración de los gases.

En la posición (1) de la fig. 10-V, el ventilador aspira aire, mientras que en la posición (2) aspira parte de los gases.

6. VENTILADORES

En un ventilador se distinguen tres elementos principales, fig. 11-V.

1) *El distribuidor* de aspiración A, que conduce el aire hasta la rueda móvil.

2) *La rueda móvil o rotor*, B, enchavetado sobre el eje accionado por un motor que puede ser eléctrico o de vapor.

3) *El difusor o caracol, C*, que constituye la caja que encierra al ventilador; allí, debido a la forma del caracol, la velocidad de gas disminuye pero aumenta su presión.

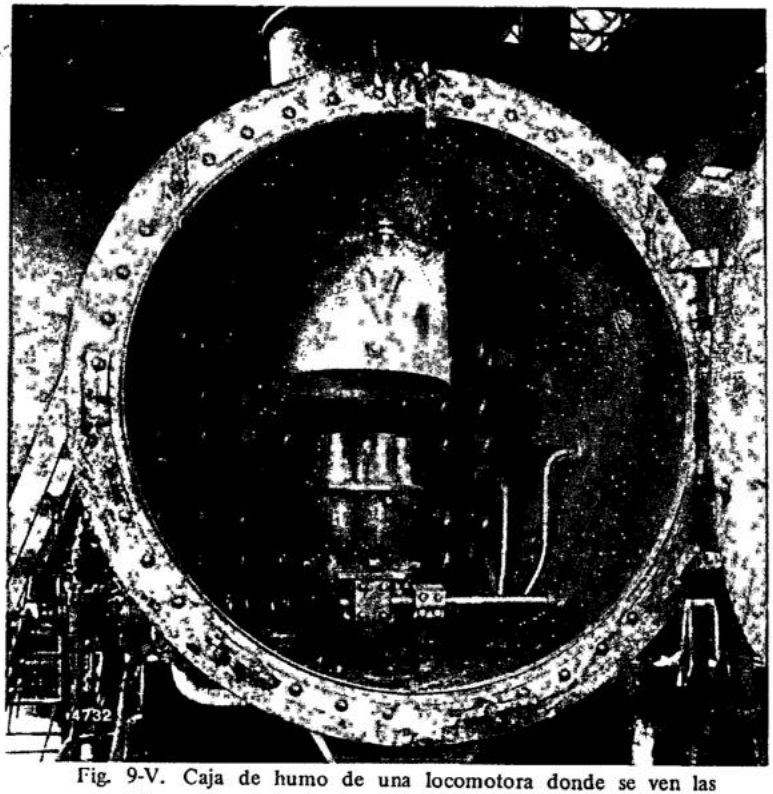


Fig. 9-V. Caja de humo de una locomotora donde se ven las toberas para el tiro inducido mediante el vapor de escape.

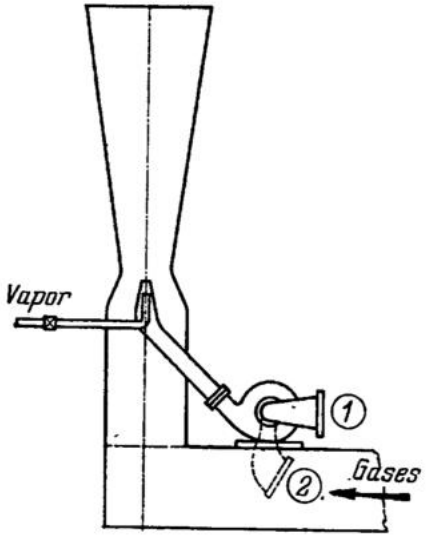


Fig. 10-V. Tiro sistema Prat.

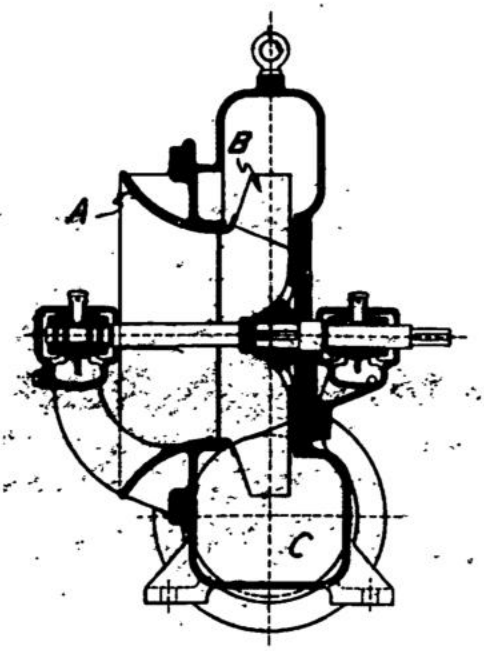


Fig. 11-V. Corte a través de un ventilador.

En las figs. 12-V y 13-V, se ven dos tipos de ventiladores utilizados en las instalaciones de calderas.

Fig. 12-V. Ventilador radial

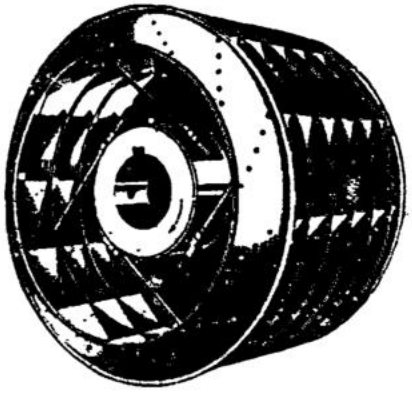


Fig. 13-V. Ventilador de alta velocidad de paletas curvadas hacia atrás, para tiro forzado.

7. DEPURADORES DE HUMO

Las instalaciones de calderas que se encuentran en los grandes centros poblados, o próximos a ellos, están sometidas a las reglamentaciones municipales en lo que se refiere a la pureza del humo que emiten sus chimeneas. Es decir, que debe eliminarse del mismo las materias sólidas que lleva en suspensión, tal como ser pedacitos de carbón, cenizas y hollín. Esto se logra haciendo pasar el gas por los llamados depuradores de humos.

En la fig. 14-V puede verse a un lavador de gas, en el cual el gas está obligado a desviarse en ángulo recto por medio de pantallas, y ponerse así en contacto con el agua. El cambio de dirección, el choque contra las pantallas y su paso por el agua lo privan de las sustancias sólidas que lleva en suspensión. Existen aparatos en los cuales se priva al gas de sus cenizas haciéndole adquirir un movimiento centrífugo.

En la fig. 15-V se puede ver a un depurador centrífugo de humos compuesto de un concentrador primario y de un ciclón.

El gas entra tangencialmente en el concentrador donde adquiere un movimiento centrífugo, con lo cual se concentran las cenizas en una pequeña porción de los gases que pasan al ciclón donde abandonan las cenizas, volviendo

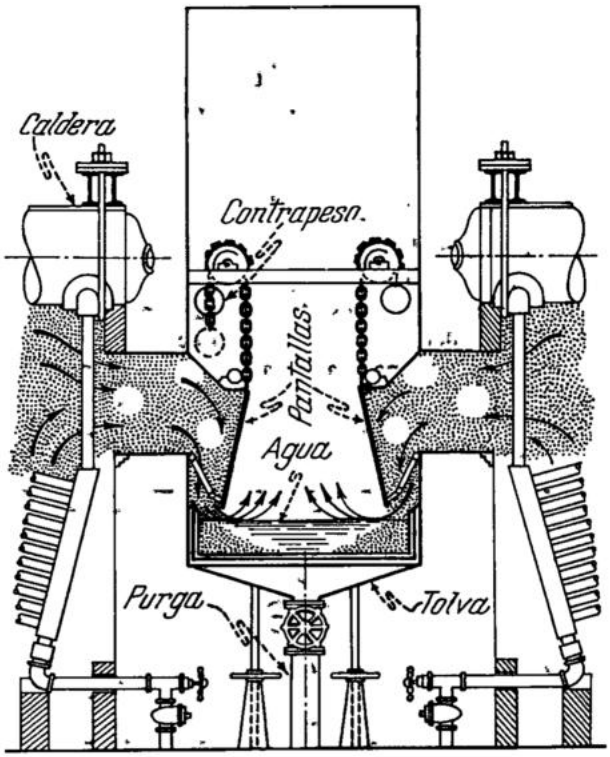


Fig. 14-V. Lavador de gas.

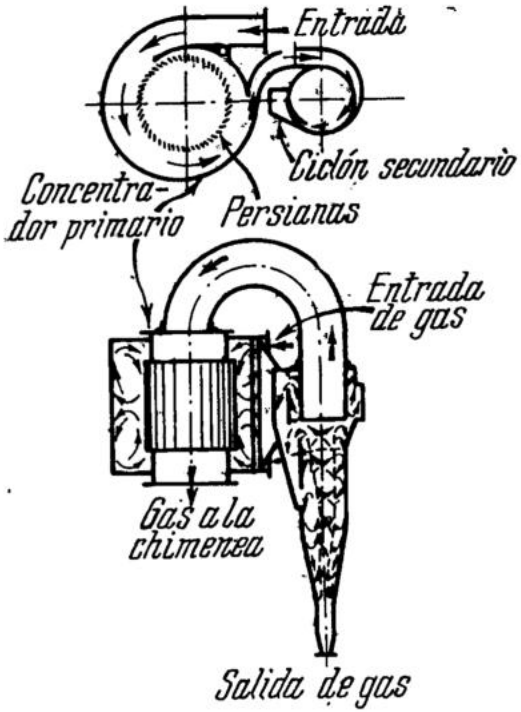


Fig. 15-V. Depurador centrífugo.

al concentrador primario donde, juntamente con la otra porción de gases, salen por las persianas que allí existen.

En los precipitadores electrostáticos el gas atraviesa un campo electrostático, fig. 16-V, donde debido a la circulación de electrones desde la región de ionización a las placas, se forma una carga espacial que atraviesan los gases. Las partículas en suspensión adquieren cargas electrostáticas negativas, y como se hallan sometidas a la acción del campo electrostático, se dirigen a las placas donde neutralizan su carga y se depositan.

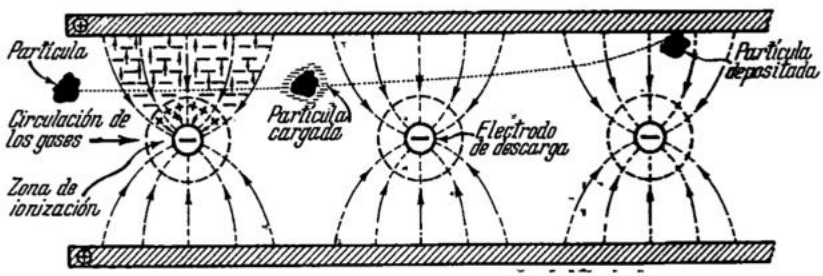


Fig. 16-V. Carga y depósito de las cenizas.

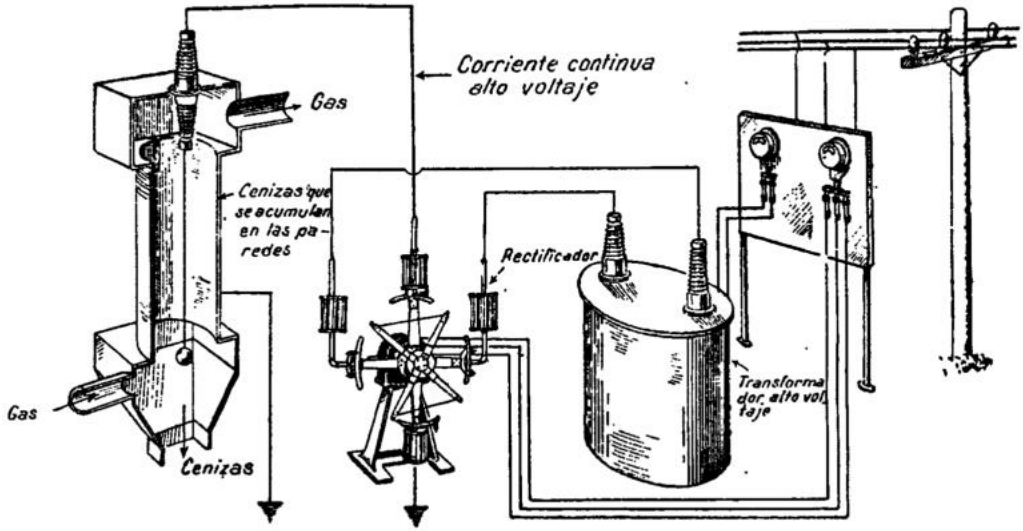
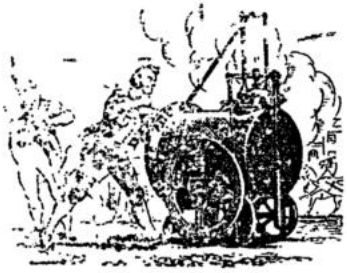


Fig. 17-V. Diagrama esquemático de un precipitador electrostático.

CAPITULO VI

CALDERAS

1. DEFINICION



Se entiende por caldera un recipiente cerrado destinado a producir vapor de agua a mayor presión que la atmosférica, absorbiendo el calor que desarrolla en el hogar la combustión.

De acuerdo con el esquema de la fig. I-VI, en una caldera se distinguen las siguientes partes:

1) El hogar con su parrilla, cámara de combustión, cenicero y altar.
2) La caldera propiamente dicha, compuesta de un cuerpo cilíndrico de chapa de acero herméticamente cerrado y expuesto a la acción de las llamas y de los gases calientes.
3) El conducto de humos, que conduce a los productos de la combustión desde el hogar hasta la base de la chimenea.

2. SUPERFICIE DE CALEFACCION

Reciben el nombre de superficie de calefacción de una caldera todas aquellas partes de la misma que se encuentran de un lado en contacto con el agua y por el otro lado reciben calor.

La superficie de calefacción se mide del lado que recibe calor y se expresa en m^2.

a) *Superficie de calefacción directa.* – Es la que por un lado está en contacto con el agua y por el otro recibe calor directamente de las llamas.

b) *Superficie de calefacción indirecta.* – Es la que por un lado está en contacto con el agua y por el otro recibe el calor que le entregan los gases de la combustión.

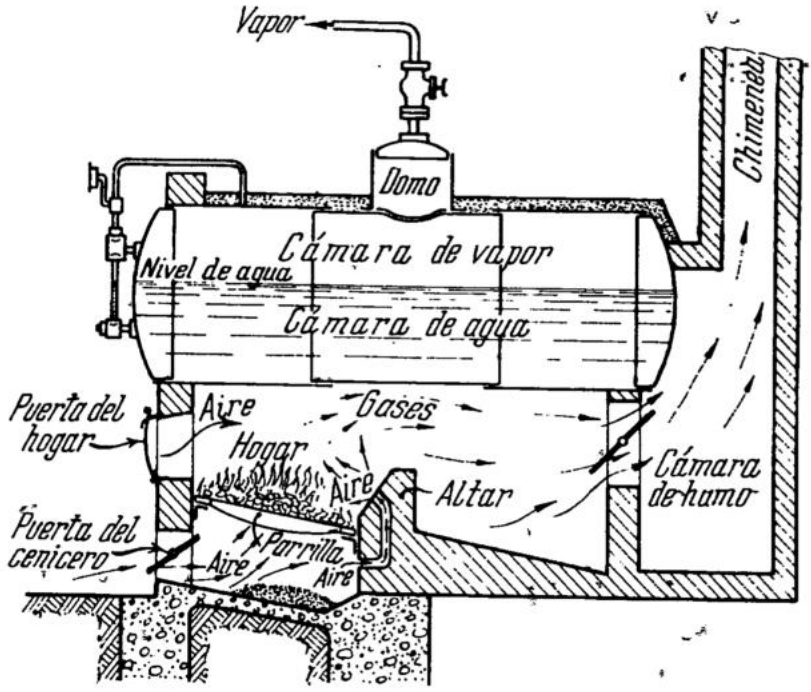


Fig. 1-VI. Esquema de los distintos elementos que constituyen una instalación de caldera.

c) *Superficie de calefacción total.* – Es igual a la suma de las dos anteriores

La superficie de calefacción de una caldera deberá ser lo suficientemente grande para que los gases estén bastante tiempo en contacto con ella para ceder la mayor cantidad de calor posible.

3. PRODUCCION HORARIA DE VAPOR

Es la cantidad, en kg, de vapor que produce una caldera por hora. Como la cantidad de vapor que puede producir una caldera, quemando la misma cantidad horaria de combustible, depende de la presión del vapor y de la temperatura con que se introduce el agua en la misma, al expresar la producción horaria de vapor de una caldera deberan mencionarse estos últimos datos.

Así por ejemplo, se dirá que una caldera produce 2.000 kg de vapor saturado por hora a 20 kg/cm^2 abs. de presión, alimentada con agua a 30° C.

4. PRODUCCION ESPECIFICA DE VAPOR O VAPORIZACION ESPECIFICA

Son los kg de vapor que produce la caldera por hora y por m^2 de superficie de calefacción.

Si la caldera anterior tiene una superficie de calefacción de 100 m^2, su producción específica de vapor será igual a

$$\frac{2.000}{100} = 20 \text{ kg de vapor/h } m^2$$

5. LA CAMARA DE AGUA

Es la parte de la caldera que durante su funcionamiento contiene agua. De acuerdo con su contenido de agua se puede clasificar a las calderas en:

a) *Calderas de gran volumen de agua.* – Se adaptan especialmente para aquellos casos en que el consumo de vapor está expuesto a grandes variaciones. Están incluidas principalmente en este grupo las calderas de cuerpo cilíndrico y las de hogar interior.

b) *Calderas de reducido volumen de agua.* – Convienen para aquellas instalaciones donde se requiere rapidez en la obtención de presión. La mayor parte de la superficie de calefacción de estas calderas está constituida por tubos de poco diámetro que pueden ser, tubos de humo o tubos de agua.

6. LA CAMARA DE VAPOR

Es el espacio que ocupa el vapor en la caldera. Se aumenta expresamente este espacio por medio de un domo o cúpula llamado también colector de vapor.

7. LA SUPERFICIE DE VAPORIZACION

Es la superficie que separa, en cualquier instante, el espacio ocupado por el agua del que ocupa el vapor. Podríamos decir que es la superficie libre del agua.

8. POTENCIA DE UNA CALDERA

La forma más correcta de establecer la *capacidad* o *potencia* de una caldera es referirse a su producción de vapor horaria, fijando también la presión de dicho vapor, y su temperatura si es sobrecalentado, y la temperatura del agua de alimentación.

Antes se hablaba de la potencia de una caldera diciendo que tenía un cierto número de HP, por ejemplo 50 HP. Con ello se quería expresar que era capaz de alimentar a una máquina de vapor de 50 HP de potencia.

Esta manera de expresar la capacidad de una caldera no es del todo rigurosa, puesto que dos máquinas de igual potencia podrán consumir cantidades muy distintas de vapor, lo cual dependerá del esmero de su construcción, de su rendimiento, fugas, etc. Extremando las cosas, podría suceder que una caldera fuese capaz de alimentar una máquina de una potencia dada, y no alcanzara a proveer el vapor necesario a otra máquina de igual potencia, pero de rendimiento muy inferior.

La forma más correcta de expresar la capacidad de una caldera no es ninguna de las dos anteriores, pero como su explicación requiere ciertos conocimientos que escapan a la característica de este libro, por tal motivo el lector que desee obtener más detalles sobre este punto puede consultar otros tratados superiores al presente[1].

9. CLASIFICACION DE LAS CALDERAS

Las calderas pueden clasificarse así:

1) Calderas cilíndricas de gran volumen de agua con hogar exterior o interior.
2) Calderas con tubos de humo de hogar exterior o interior.
3) Calderas con tubos de agua o acuotubulares.
4) Calderas con tubos de agua de circulación forzada.
5) Calderas con tubo de agua de paso forzado.

10. CALDERAS CILINDRICAS DE GRAN VOLUMEN DE AGUA

a) *De hogar exterior.* – Estas calderas están constituidas por un cilindro formado de chapas de acero y cerrado, en sus fondos, por bases ligeramente convexas y remachadas. Aunque hoy en día no se instalan calderas de este tipo, se las describe a título informativo y como breve reseña histórica.

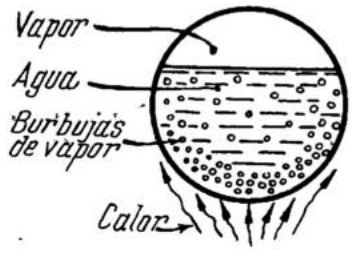


Fig. 2-VI. Formación del vapor en un cuerpo cilíndrico.

Las calderas cilíndricas, fig. 1-VI, tienen pequeña superficie de calefacción con respecto al volumen de agua que contienen, y la circulación no es satisfactoria.

Veamos en una caldera como la de la fig. 2-VI, de qué manera se establece la circulación del agua. Al transmitirse el calor a través de la chapa, fig. 2-VI, se forman burbujas de vapor sobre la superficie de calefacción. Estas burbujas y el agua caliente, por ser de menor peso específico que el resto del agua ascenderán, descendiendo el agua más fría, originándose las conocidas corrientes convectivas de que se habló en el Cap. I. Al llegar las burbujas a la superficie libre del agua, o sea a la superficie de vaporización, estallan, pasando el vapor a ocupar la *cámara de vapor*.

Las calderas de este tipo pueden construirse de varios cuerpos cilíndricos, en cuyo caso reciben el nombre de *calderas de hervidores*, las que estuvieron, años atrás, muy difundidas en Europa.

[1] Puede verse, por ejemplo: Marcelo Mesny, "Generación del vapor", Editorial Marymar, 1976.

En este caso el cuerpo cilíndrico superior comunica con otros cuerpos cilíndricos ubicados más abajo como puede verse en la fig. 3-VI. Dichos hervidores tienen su eje longitudinal ligeramente inclinado hacia atrás para facilitar el movimiento del agua. Los gases de la combustión siguen el camino sinuoso indicado por la flecha, con lo que se aprovecha mejor el calor de la combustión.

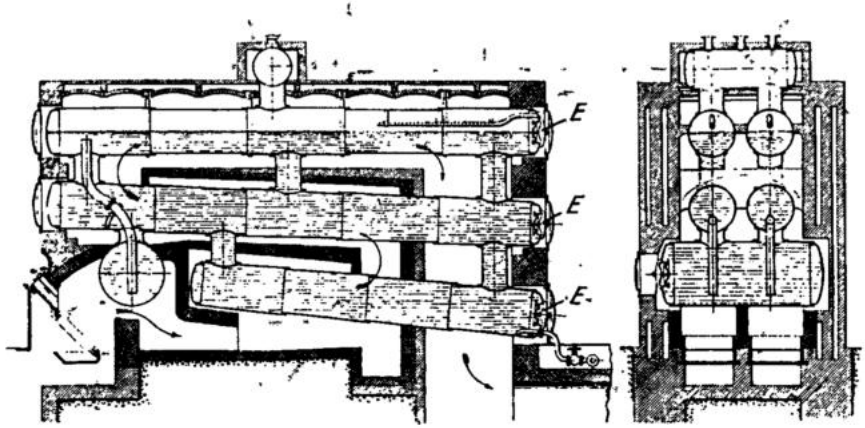


Fig. 3-VI. Caldera antigua con hervidores.

b) *De hogar interior.* – Para mejorar el rendimiento de la caldera y aprovechar mejor el calor, se instala el hogar en el interior del cuerpo cilíndrico de la caldera, así, todo el calor que atraviesa las paredes del hogar indefectiblemente pasa al agua, fig. 4-VI.

Fig. 4-VI. Formación del vapor en un cuerpo cilíndrico, con calentamiento interior mediante un tubo hogar.

La formación del vapor se distribuye así más uniformemente dentro de la masa de agua. En la fig. 5-VI, se ve a la caldera Cornovaglia que pertenece a este tipo y que se empleaba en instalaciones de pequeña potencia. Consta de un cuerpo cilíndrico con uno o dos tubos de fuego cuyos ejes son paralelos al cilindro mayor, y dentro de los cuales se instalan sendos emparrillados. Los gases de la combustión, que se desprenden de la parrilla, circulan hacia atrás por el conducto de fuego y pasan luego a los canales situados debajo de la caldera, llegan hasta el frente y penetran en los dos conductos laterales barriendo parte de la superficie de la caldera antes de llegar a la chimenea.

En la fig. 6-VI se ve a la caldera Galloway también del tipo cilíndrico con hogar interior. El tubo de fuego se encuentra atravesado por tubos que permiten la circulación libre del agua, aumentando así, además, la superficie de calefacción.

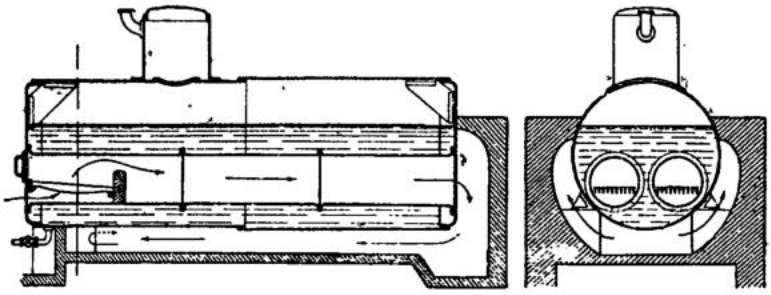


Fig. 5-VI. Caldera del tipo Cornovaglia.

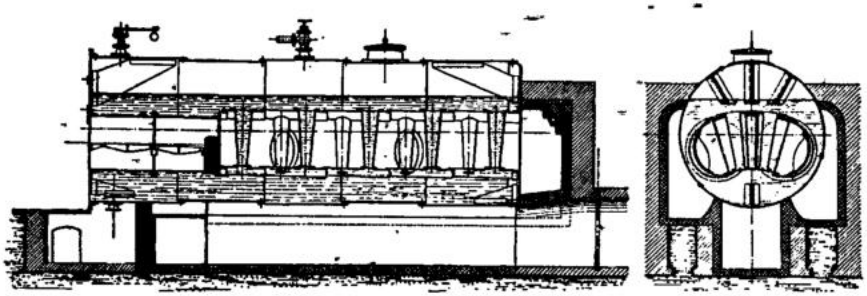


Fig. 6-VI. Caldera Galloway

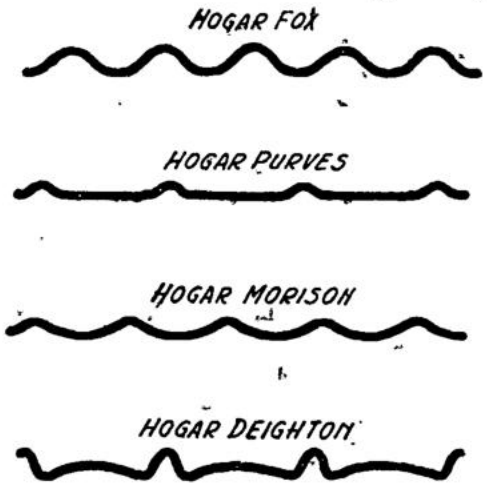


Fig. 7-VI. Distintas formas de tubos hogares.

11. TUBOS DE FUEGO

Cuando el hogar está constituido por un tubo liso, se producen muy comúnmente aplastamientos que pueden ser la causa de graves accidentes; hoy en día se utilizan casi exclusivamente tubos de fuego de paredes corrugadas, del tipo Fox, Morison, Purve o Deighton, fig. 7-VI, con lo que se consigue además, mayor superficie de calefacción; hasta un 14% más que con tubos lisos.

12. CALDERAS CON TUBOS DE HUMO

En estas calderas, el caudal de gases de la combustión se reparte en un gran número de tubos de pequeño diámetro que atraviesan el agua. Su superficie de calefacción es elevada con respecto al volumen de agua que contiene la caldera.

En la fig. 8-VI, se ve cómo en este caso la formación de vapor, en el seno de la masa de agua, es aún más uniforme que en el caso anterior.

a) *De hogar exterior.* – En la fig. 9-VI,, se representa en corte una caldera "Economic" de este tipo. Una parte de su cuerpo cilíndrico está calentado directamente por las llamas; luego los gases pasan por un primer grupo de tubos de diámetro grande, llegan a la caja de humo, cambian de dirección y se dirigen a la chimenea pasando a través de un segundo grupo de tubos de diámetro menor que los anteriores. La fig. 11-VI, permite darse cuenta mejor de la forma de esta caldera.

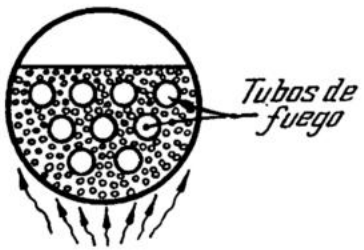


Fig. 8-VI. Formación del vapor con calentamiento interior mediante tubos de humo.

Dichas calderas se fabrican también de tres pasos, tal como la que se indica en la fig. 10-VI,

b) *De hogar interior.* – La fig. 12-VI, representa a la caldera marina tipo Scotch que se utilizó desde el año 1914 en casi todas las naves de carga, pero que desde hace unos 30 años es reemplazada por las de tubos de agua en razón de su menor peso.

Consta esencialmente de un cuerpo cilíndrico cerrado por medio de dos placas que se unen entre sí con barras de refuerzo para evitar las deformaciones que originan los grandes esfuerzos.

Por ejemplo, en una caldera de este tipo cuyo diámetro fuese de 4 m, y su presión de funcionamiento 15 kg/cm^2, el esfuerzo ejercido por el vapor sobre los fondos sería de aproximadamente 1.800.000 kg, valor bastante apreciable.

Los hogares interiores, en número de dos o más, del tipo de tubos de fuego son de chapa corrugada, sistema Fox o Morison.

Estos tubos se encuentran fijados, por un lado, a la chapa frontal de la caldera y por la otra extremidad a la cámara de humo donde desembocan los gases de la combustión.

Los gases que llegan a la cámara de humos deben atravesar el haz tubular antes de llegar a la base de la chimenea situada en el frente de la

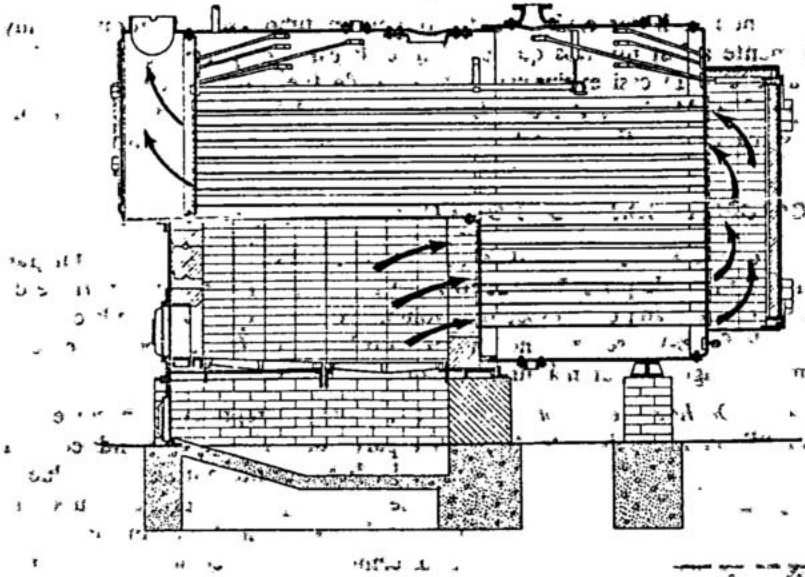


Fig. 9-VI. Caldera "Economic" de tubos de humo con retorno de humos, o sea de dos pasos.

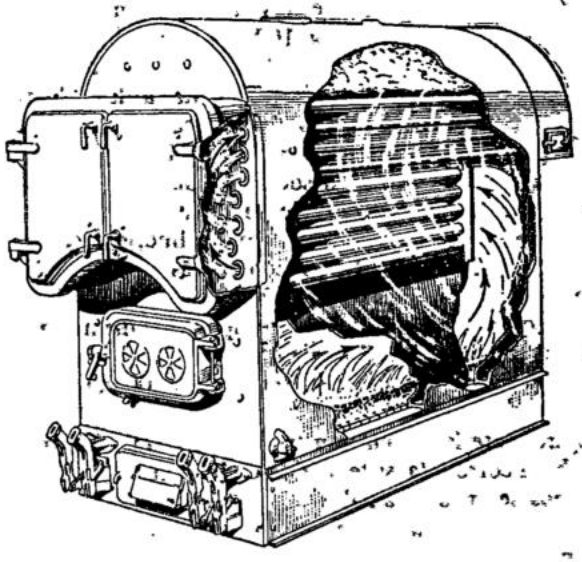


Fig. 10-VI. Caldera de tubos de humos de tres pasos, tipo D (*Fitzgibbons Boiler Co.*).

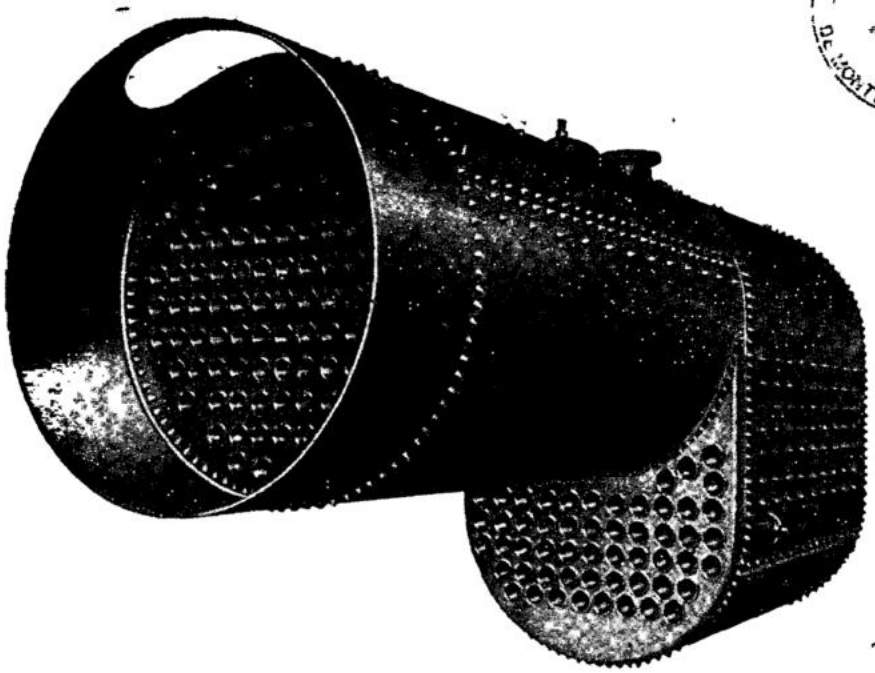


Fig. 11-VI. Vista de la caldera "Economic" antes de ser montada sobre su basamento.

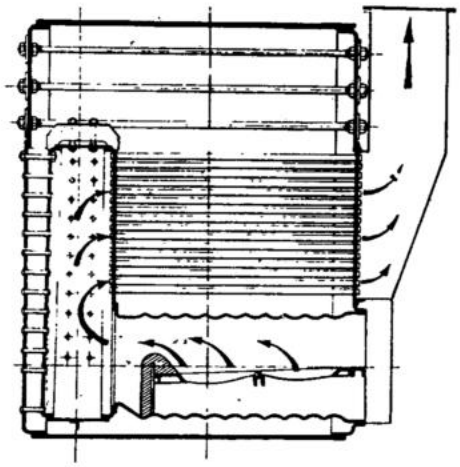


Fig. 12-VI. Caldera marina tipo Scotch.

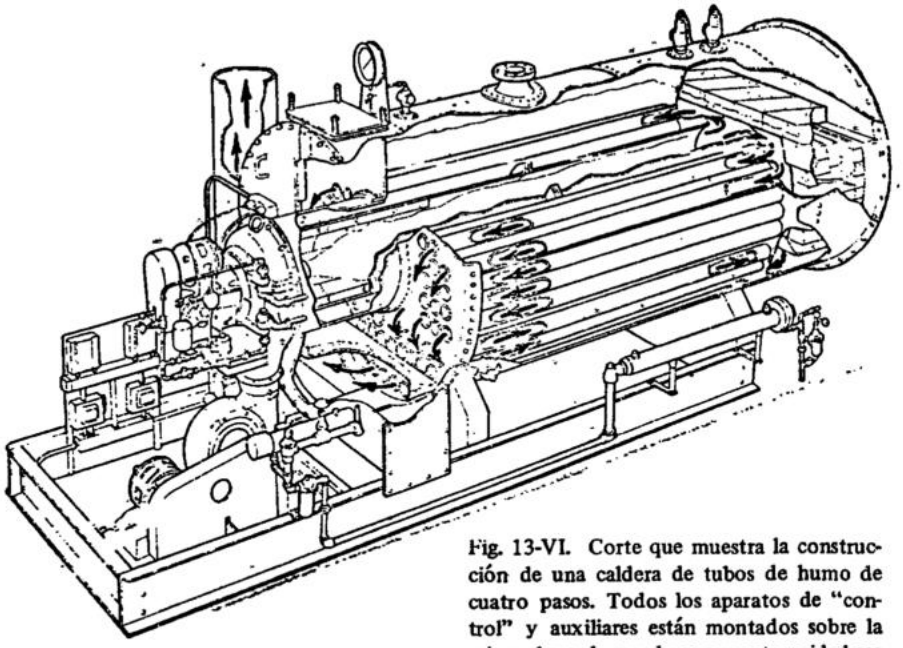


Fig. 13-VI. Corte que muestra la construcción de una caldera de tubos de humo de cuatro pasos. Todos los aparatos de "control" y auxiliares están montados sobre la misma base, lo que hace que esta unidad sea fácil de instalar.

caldera. Como en los tubos de humo los gases se mueven en sentido contrario a los del hogar, estas unidades se conocen con el nombre de calderas de retorno de llama o más correctamente de retorno de humo.

En estas calderas el nivel normal de agua debe fijarse de modo que a pesar de los movimientos de la nave no quede al descubierto la parte superior de la cámara de humos, que es el punto más elevado de la superficie de calefacción.

Otra caldera de tubos de humo y de hogar interior puede verse en la fig. 13-VI. Está destinada para quemar petróleo, y constituye una unidad compacta montada sobre una base con todos sus accesorios, lo que hace sumamente fácil su transporte e instalación. Esta caldera se llama también de cuatro pasos porque los gases cambian cuatro veces de dirección como lo indican las flechas.

13. CALDERA TIPO LOCOMOTORA

Como se observa en la fig. 14-VI, esta caldera está constituida por un cuerpo cilíndrico relativamente largo con respecto a su diámetro. El hogar, que en este caso recibe el nombre de caja de fuego, es de forma rectangular, aun cuando algunas veces el ciclo del mismo se hace ligeramente combado hacia arriba.

Las paredes de la caldera, en el lugar donde se halla el hogar, son también planas, y reciben el nombre de envolvente de la caja de fuego, de modo que entre ellas y las paredes laterales de la caja de fuego media un espacio de agua de 70 a 100 mm de espesor. Ambas chapas se unen entre sí mediante

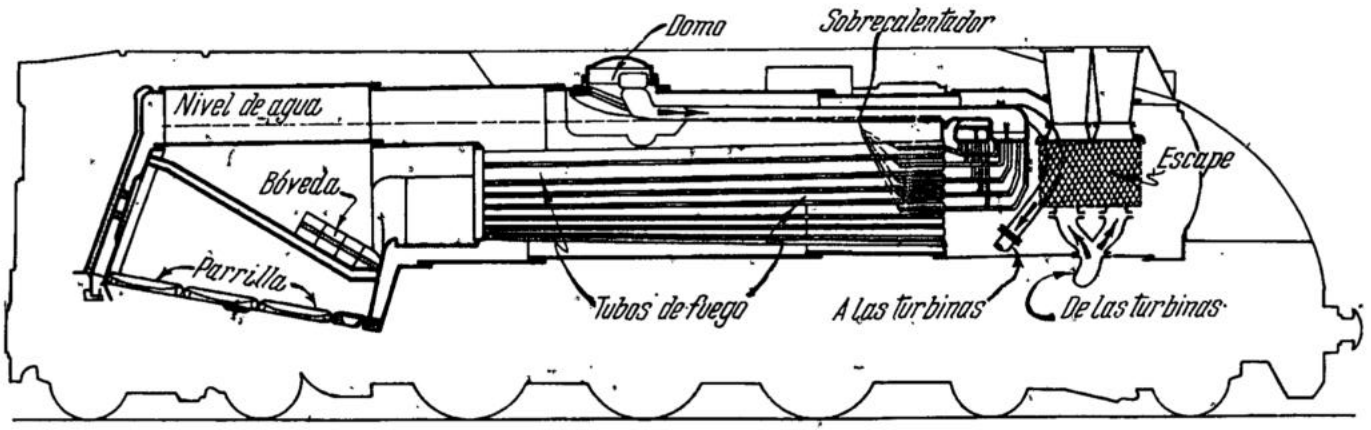


Fig. 14-VI. Caldera de una locomotora francesa accionada por turbinas.

virutillos. La forma de este elemento se indica en la figura 15-VI; en las locomotoras suelen ser de cobre. Se fijan a ambas paredes por roscado y se remachan sus extremidades formando cabezas. La perforación que llevan estos elementos sirve para que al romperse uno de ellos se advierta su rotura por el agua o por el vapor que entonces sale, y se indique su reparación. Si no estuviesen fabricados en esa forma, podrían romperse varios de ellos sin que nadie lo advierta abombándose la chapa de la caldera.

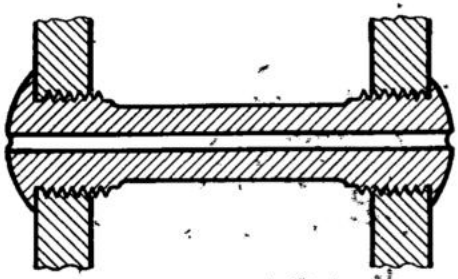


Fig. 15-VI. Corte a través de un virutillo.

Como el cielo del hogar es plano se lo arriostra al cielo de la envoltura o sino a costillas de refuerzo utilizando virutillos flexibles, fig. 16-VI.

El haz de tubos corre desde la placa tubular del hogar hasta la de la caja de humo. En esta última se encuentra la chimenea y los caños que conducen el vapor, que escapa de los cilindros, y que se utiliza para producir el tiro inducido.

Este tipo de caldera, debido a su peso reducido y a su aptitud para resistir las vibraciones se la emplea principalmente en las locomotoras y en las locomóviles, fig. 17-VI, (caldera y máquina formando una sola unidad como en las trilladoras). También se utilizan en instalaciones semifijas por la facilidad con que se las puede trasladar.

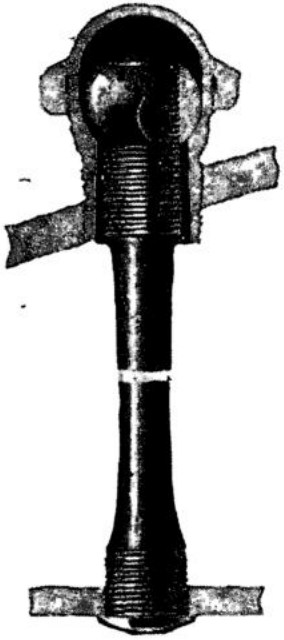


Fig. 16-VI. Virutillo flexible.

El manejo de estas calderas requiere cierto cuidado, pues el nivel de agua, por encima del cielo del hogar, es reducido, alrededor de 15 cm. por lo tanto, en un descuido del maquinista, aquella parte del hogar puede quedar al descubierto y producirse una explosión si no se toman los cuidados que requiere el caso.

Estas calderas están provistas de un domo donde se instala la toma de vapor, y cuya finalidad es permitir la colocación de esta última lo más lejos posible del nivel del agua para evitar el excesivo arrastre de humedad a los cilindros o a los sobrecalentadores; en estos domos se instalan también separadores de vapor.

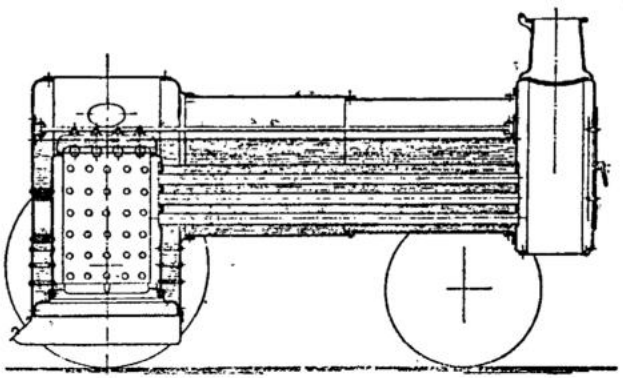


Fig. 17-VI. Vista de una caldera de locomóvil

14. CALDERAS VERTICALES

Entre las calderas de tubos de humo las verticales son las primeras que se crearon, encontrando aplicación donde el espacio disponible en planta es reducido, como ocurre por ejemplo en los guinches de vapor. Requieren muy poca obra de ladrillos y en general ninguna.

Los productos de la combustión pasan a través del haz de tubos directamente a la chimenea. La de la fig. 19-VI, se caracteriza por tener el hogar de mayor diámetro que su cuerpo cilíndrico, con lo que se obtiene un mayor volumen de hogar y superficie de emparrillado que el que puede obtenerse con el diseño de la caldera indicada en la fig. 18-VI.

En las calderas representadas en las figs. 18 y 19-VI, el nivel del agua se encuentra más abajo que la placa tubular superior, de tal manera que el vapor sufre un pequeño sobrecalentamiento, es decir, se obtiene vapor más seco que en el caso de las otras calderas verticales en las cuales esa placa tubular está más abajo que el citado nivel.

Otras ventajas de estas calderas son su costo relativamente bajo, su puesta en marcha rápida y la facilidad de su trasporte.

Adolecen de la desventaja de que al tener poco volumen de agua, con relación a su producción de vapor, deben operarse con mucho cuidado para evitar explosiones.

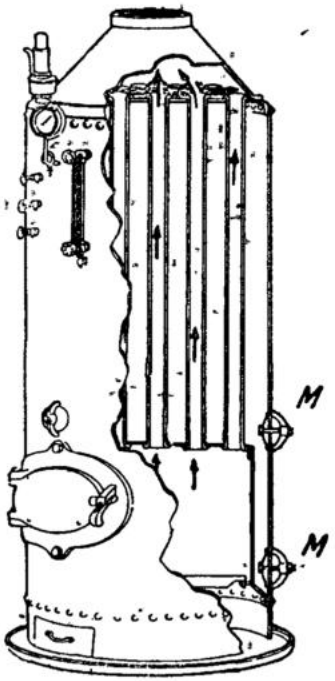


Fig. 18-VI. Caldera vertical donde puede verse la caja de fuego y los tubos de humo.

15. CALDERAS DE TUBOS DE AGUA O ACUOTUBULARES

En estas calderas la masa de agua se reparte en un gran número de tubos de pequeño diámetro, sometidos exteriormente a la acción de los gases de la combustión y por el interior de los cuales circula el agua; estas unidades pueden considerarse como calderas provistas con hervidores de diámetro reducido.

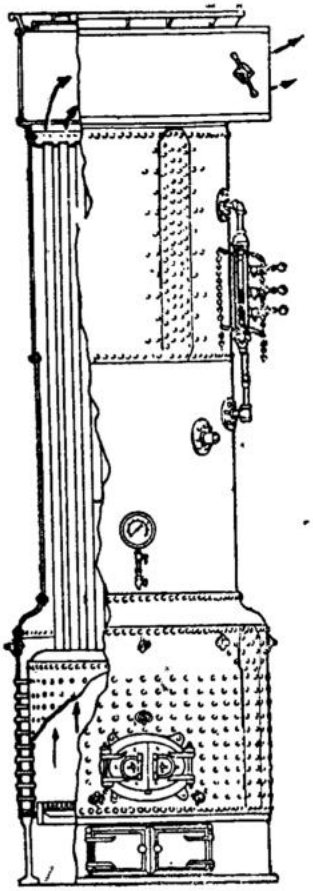


Fig. 19-VI. Caldera vertical Manning con cámara de combustión ensanchada.

En ellas la rotura de los tubos es más difícil, pero si llega a producirse, sus consecuencias no son de temer como la explosión de una caldera cilíndrica o del tipo de locomotora, por tal motivo se las suele llamar, *calderas inexplosivas*.

Debido al pequeño contenido relativo de agua, a su gran superficie de calefacción y a la circulación eficiente del agua, estas calderas pueden llevarse rápidamente a las condiciones normales de marcha. Se recomienda emplear no menos de una hora para lograr este propósito, pues con ello se prolonga la vida del material refractario del hogar y la vida de la caldera misma.

Veamos el principio de la circulación del agua en este tipo de caldera. En la fig. 20-VI se ha representado a una caldera sencilla con un solo tubo de agua. Sólo una rama de este tubo es calentada, mientras que a la otra no llega el calor por existir una pantalla aisladora.

Al recibir calor, el agua de la rama izquierda se calienta disminuyendo su peso específico y transformándose parte en vapor de peso específico aún menor, es decir, que toda esa mezcla de agua caliente y vapor va a moverse hacia arriba para penetrar en el colector de vapor o domo, siendo reemplazado el volumen por ella desplazado, por el agua más fría que desciende por la rama derecha del tubo. Se establecen así las corrientes convectivas que producen la circulación del agua en las calderas acuotubulares.

En estas calderas el hogar es exterior y de gran volumen, lo que permite realizar una combustión de alto rendimiento.

Pueden clasificarse en los siguientes tipos:

a) De tubos rectos.

b) De tubos curvados, pudiendo ser de 1, 2, 3 o más colectores.

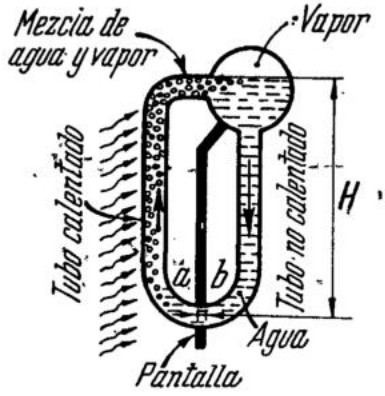


Fig. 20-VI. Principio de funcionamiento de una caldera acuotubular vertical

a) *Caldera de tubos rectos.* – En la fig. 21-VI, se ve un esquema de este tipo donde puede apreciarse la formación del vapor y cómo circula el agua.

En estas calderas los tubos pueden instalarse vertical u horizontalmente. No siempre los tubos siguen con exactitud la dirección de la vertical o de la horizontal, sin embargo, se designa con el nombre de caldera de tubos verticales a aquella cuyos tubos están colocados según la vertical o con poca inclinación con respecto a esta última y caldera de tubos horizontales cuando los tubos son horizontales o se apartan poco de esa posición.

a, 1) *Calderas de tubos horizontales y de domo longitudinal. Caldera Babcock y Wilcox.* – Esta caldera, fig. 22-VI, estuvo muy difundida en nuestro país. Se compone de un colector cilíndrico de vapor y de un haz tubular ligeramente inclinado hacia atrás. El frente y la parte posterior de dicho haz está constituido por una serie de cajas o cabezales de forma sinusoidal, fig. 23-VI, puestos unos al lado de los otros, de manera que se adaptan formando

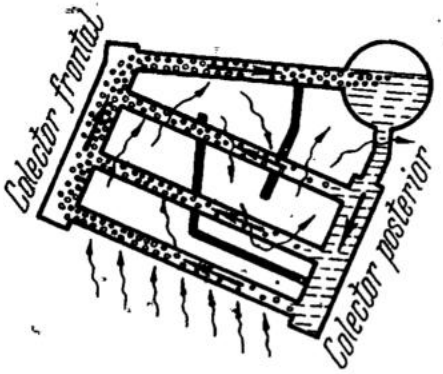


Fig. 21-VI. Principio de funcionamiento de una caldera acuotubular de tubos rectos horizontales.

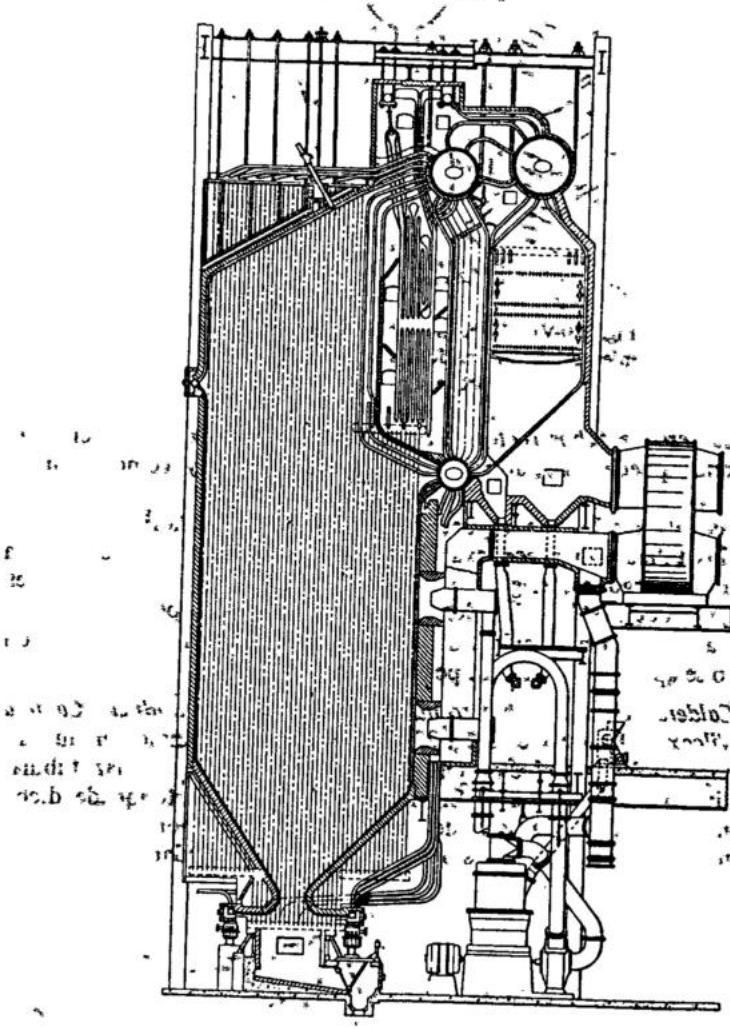


Fig. A-VI. Caldera VE de la Combustion Engineering que produce 130.000 kg de vapor por hora a 88 kg/cm². Posée esta caldera paredes refrigeradas, molino pulverizador de carbón y precalentador de aire del tipo regenerativo.

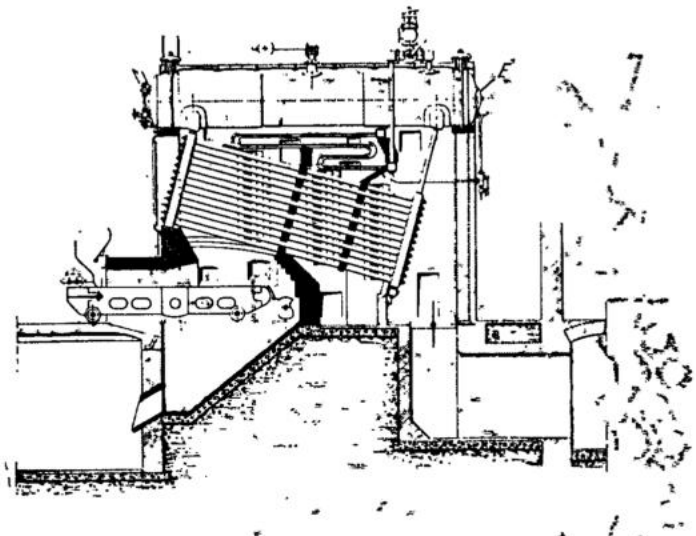


Fig. 22-VI. Caldera Babcock-Wilcox con hogar mecánico del tipo de cadena sin fin.

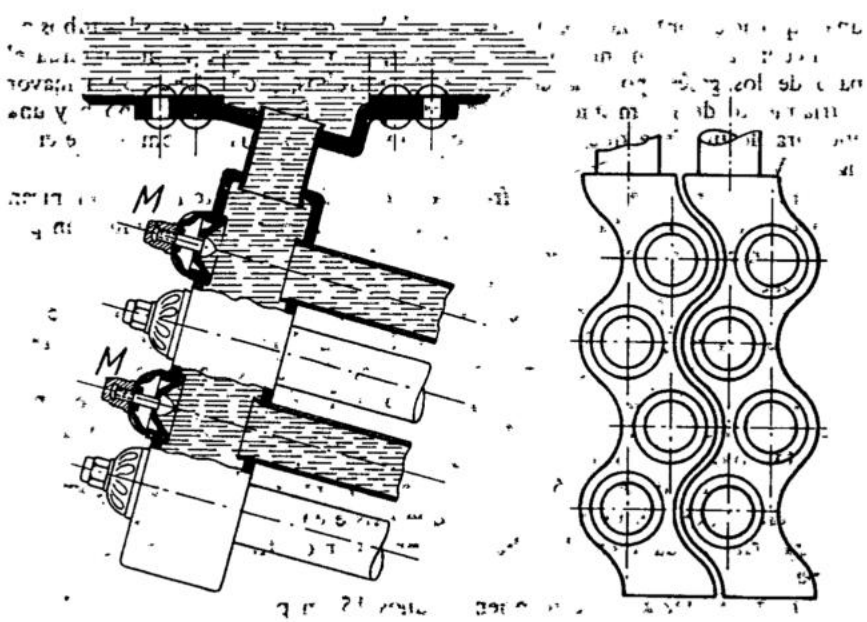


Fig. 23-VI. Vista en corte de un cabezal de caldera Babcock y disposición frontal.

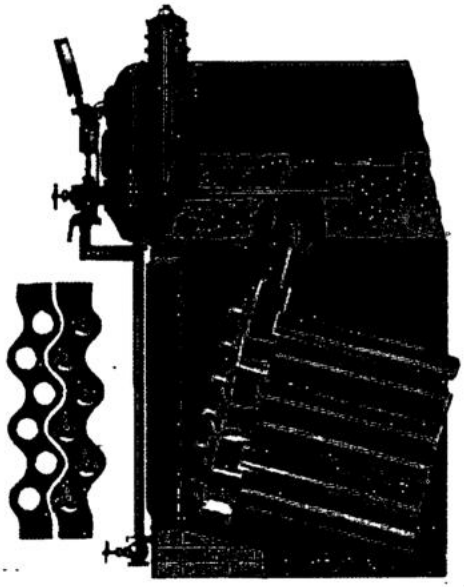


Fig. 24-VI. Otra vista a través de una caldera Babcock y Wilcox.

una superficie continua. Con la forma ondulada de estos cabezales los tubos no se encuentran en un mismo plano vertical, sino en zig-zag, lo que retarda el paso de los gases, por sus choques con los tubos, produciéndose un mayor enfriamiento de los mismos. En esos cabezales y frente a cada tubo hay una abertura de limpieza que se obtura con un cierre apropiado, como se ve en la fig. 23-VI.

El conjunto de las cajas frontales como así las posteriores comunican mediante tubos con el colector de vapor. Las cajas posteriores comunican por su parte inferior con un colector de lodo.

Dada la inclinación de los tubos, el agua caliente y el vapor que se genera en ellos circulan hacia adelante. La alimentación se hace por medio de un tubo que penetra por el frente de la caldera, fig. 24-VI, con lo cual se somete el agua a un movimiento de arrastre, hacia el fondo del colector de vapor, obligándola a penetrar en los tubos que comunican con las cajas posteriores. Esta corriente arrastra hacia atrás a los depósitos de barro e impurezas depositándolos en el colector de barro.

El tubo de alimentación se hace más bien largo para que el agua comience a calentarse antes de mezclarse con la que existe en la caldera, y evitar así, que el agua fría pueda tocar las chapas y provocar contracciones bruscas de las mismas.

El nivel del agua se mantiene a unos 15 cm por encima del fondo del domo de vapor.

Las calderas de tubos rectos y horizontales también se fabrican con el domo transversal como puede verse en la fig. 25-VI.

Por la simplicidad de su estructura, la facilidad con que pueden inspec-

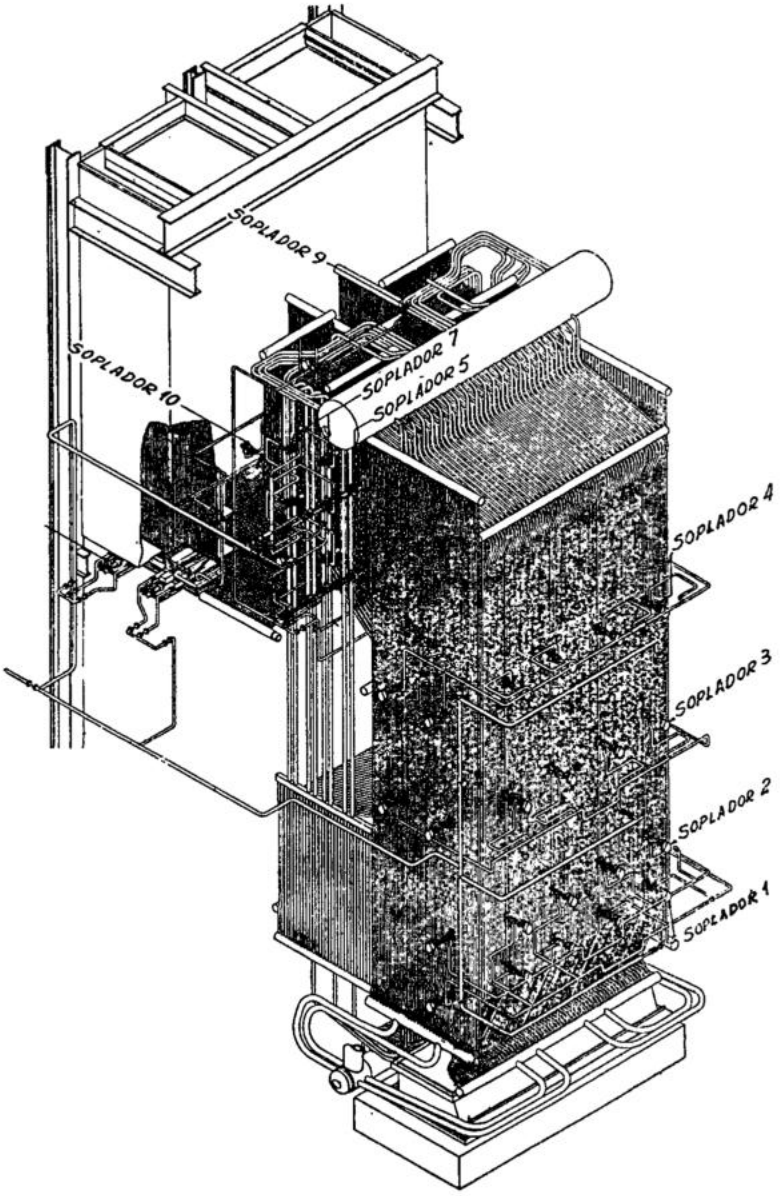


Fig. B-VI. Disposición de los tubos en una caldera moderna acuotubular. Se ve también la ubicación de los sopladores de hollín.

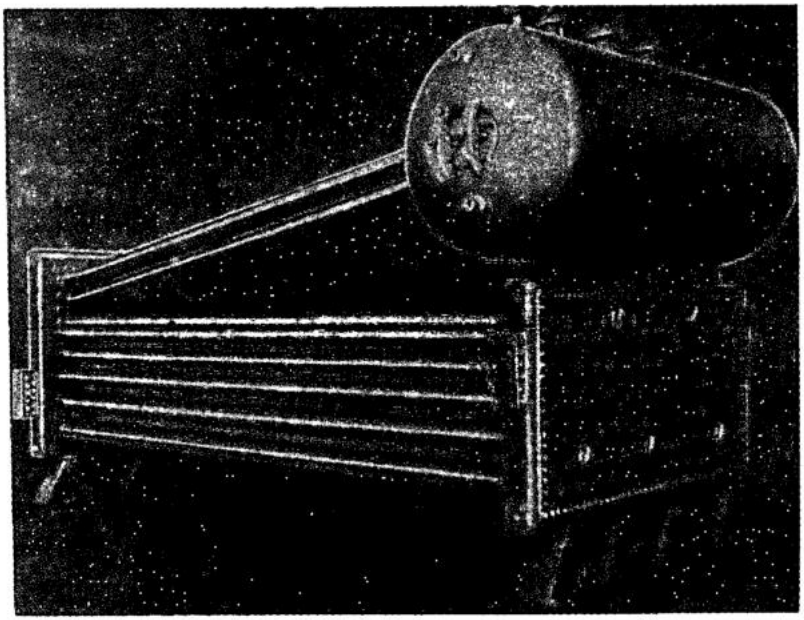


Fig. 25-VI. Caldera C. E. Heine con domo de vapor transversal.

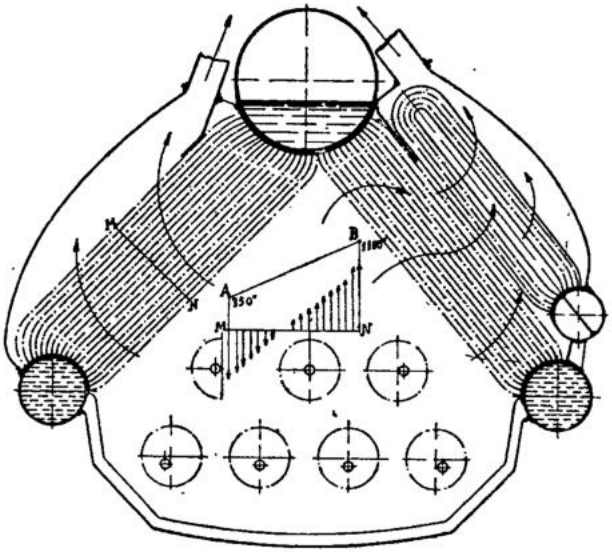


Fig. 26-VI. Caldera Jarrow de tres colectores.

cionarse y limpiarse los tubos, la libertad que tienen sus distintas partes para dilatarse y la facilidad con que pueden cambiarse los distintos elementos de estas calderas sin que sea necesario retirar toda la unidad, son muy recomendables para instalaciones marinas donde ya existe, por otra parte, gran cantidad de ellas en funcionamiento.

a, 2) *Caldera Jarrow.* – Consta esta caldera, de un domo superior de vapor unido a otros dos colectores inferiores de agua mediante haces de tubos. El conjunto adopta la forma triangular y el emparrillado se ubica entre los dos haces tubulares de manera que las llamas actúan directamente sobre los tubos. Esta es una caldera que ha tenido gran aplicación en la marina.

Los tubos desembocan normalmente en el domo y los dos colectores, adoptando la caldera la forma indicada en la fig. 26-VI.

Para obtener una circulación más activa se provee a la caldera de tubos de circulación instalados del lado exterior del revestimiento de la unidad, pues así ocurre el fenómeno ya señalado en el apartado 15, fig. 20-VI.

En el Queen Mary había 24 calderas de este tipo que operaban a la presión de 28 kg/cm^2 y suministraban el vapor sobrecalentado a 370° C.

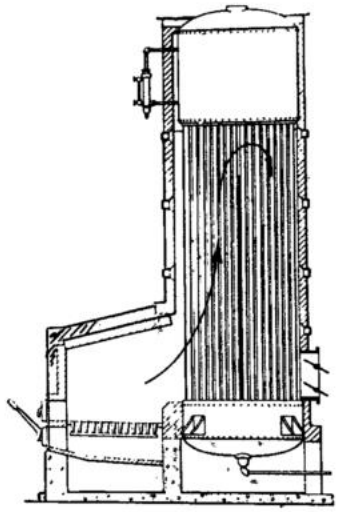


Fig. 27-VI. Caldera Wickers de tubos verticales.

a, 3) *Calderas de tubos verticales. Caldera Wickers.* – Dicha caldera está representada en la figura 27-VI, el haz de tubos se encuentra unido en la parte superior a un colector que recibe el nombre de colector de vapor, y en la parte inferior a un colector de agua o barro.

El hogar no se encuentra debajo de la caldera, sino a un costado formando antecámara para que la combustión sea más completa. Se observa, además, que el haz tubular está dividido mediante un diafragma o tabique con el propósito de que los gases recorran más camino antes de llegar a la chimenea para aprovechar mejor su calor.

b) *Calderas de tubos curvados.* – La fig. 28-VI, da idea del principio de funcionamiento de estas calderas, en ellas la circulación del fluido es un poco más compleja. La mayor parte del vapor se produce en el grupo de tubos inclinados, descendiendo el agua por los tubos verticales de la parte posterior menos calentada, tal como en el esquema de la fig. 20-VI. En el domo de vapor, es decir el que está más arriba, penetra vapor tanto por encima del nivel de agua como por debajo del mismo.

En la fig. 29-VI, puede verse una caldera de este tipo.

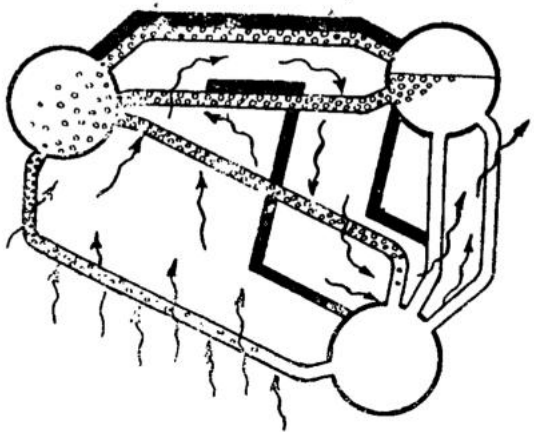


Fig. 28-VI. Principio de funcionamiento de la caldera de tubos curvados.

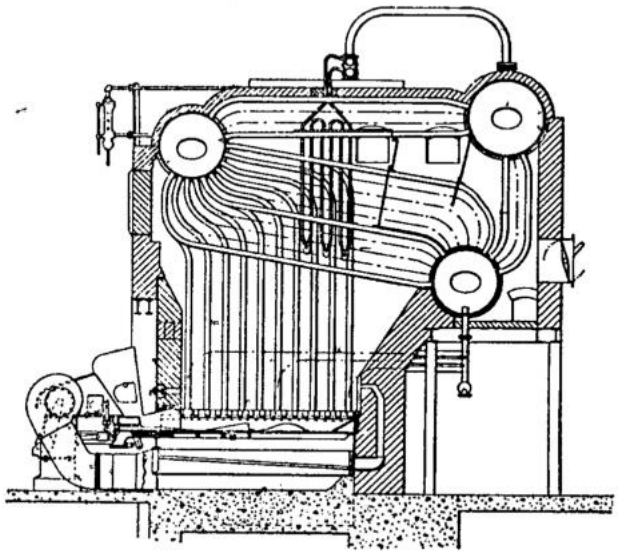


Fig. 29-VI. Caldera V-M de la Combustion Engineering que produce 7.000 kg de vapor por hora a 10 kg/cm² y 240° C.

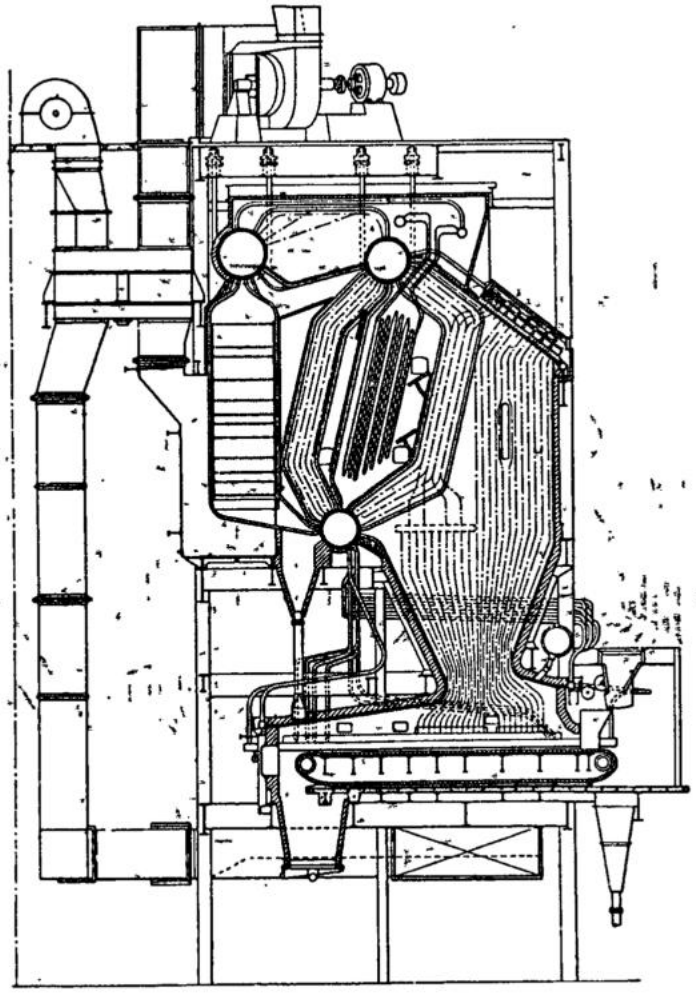


Fig. C-VI. Caldera VE de la Combustion Engineering que produce 120.000 kg de vapor por hora a 82 kg/cm² y 490° C, provista de emparrillado mecánico sin fin y tiro forzado.

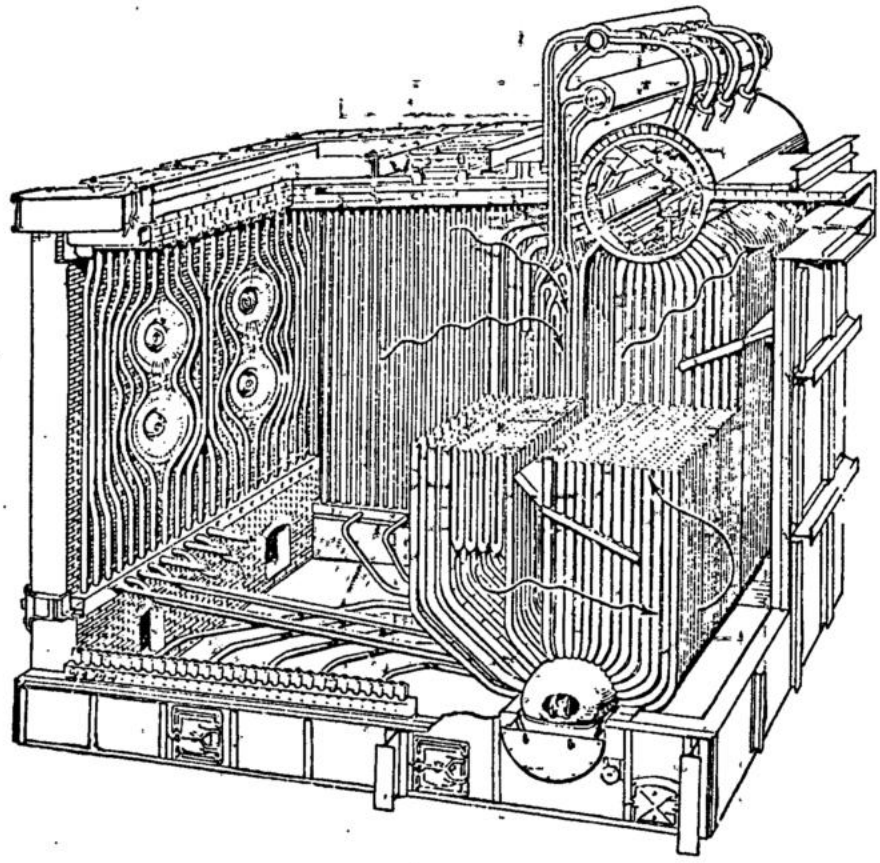


Fig. D-VI. Caldera tipo V2-M con hogar refrigerado por tubos de agua, sobrecalentador, economizador, precalentador de aire y desobrecalentador en el domo superior.

16. CALDERAS DE CIRCULACION FORZADA

En las calderas de circulación natural, esta última está asegurada por la diferencia de pesos específicos que existe entre la columna ascendente constituída por la mezcla de agua y vapor, y la columna descendente de agua a menor temperatura.

Es evidente que la circulación natural no es adecuada para las elevadas presiones ni para las grandes producciones de vapor que se requieren en las instalaciones modernas, es necesario entonces, emplear las calderas de circulación forzada cuyo principio de operación fué inventado en 1856 por Martin Benson, de Cincinati, Ohio, Estados Unidos de Norte América, la cual ofrece la ventaja de enfriar perfectamente los tubos y realizar una gran absorción de calor por unidad de superficie de calefacción.

Además, en las calderas de circulación forzada puede influirse perfectamente en el proceso de la vaporización regulando la presión de la bomba.

Entre las calderas de circulación forzada pueden distinguirse:

a) Las calderas de circulación forzada propiamente dicha, fig. 30-VI, en las cuales el vapor o el agua pasan continuamente por la superficie de calefacción como sucede en las calderas Löffler, La-Mont y Velox. En este tipo existe bomba de alimentación y bomba de circulación.

b) Las calderas de paso forazdo, figura 31-VI, por las cuales circula exactamente la cantidad de agua que debe convertirse en vapor; ejemplo de ellas son las calderas Benson, Sulzer-Monotubo, Ramsin, etc. Este tipo posee únicamente la bomba de alimentación cuya presión de descarga es notablemente superior a la del vapor generado.

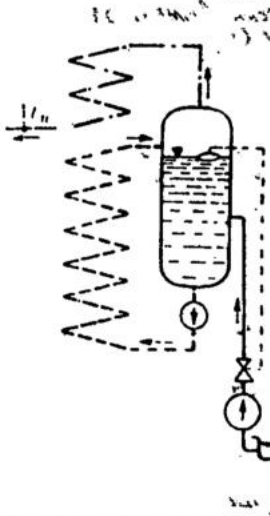


Fig. 30-VI. Diagrama de una caldera de circulación forzada propiamente dicha.

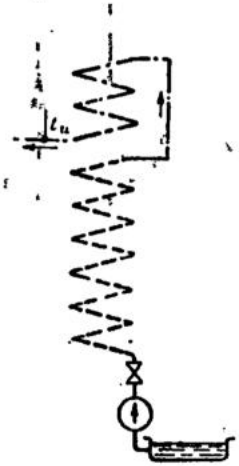


Fig. 31-VI. Diagrama de una caldera de paso forzado.

Ambos tipos de calderas ofrecen las ventajas siguientes:

1) Protección simple de las paredes del hogar con tubos de agua.
2) Son insensibles a los cambios bruscos de temperatura y presión.
3) La circulación del agua es insensible a las variaciones bruscas de carga.
4) Son satisfactorias para operar con elevadas presiones y temperaturas.
5) Se adaptan fácilmente a la forma del local.

Caldera Velox

En esta caldera se combina la circulación forzada del agua con la combustión a presión y surgió como consecuencia de las investigaciones realizadas en la Compañía Brown Boveri, relativas a la sobrealimentación de motores Diesel y a la construcción de turbinas de gas fundadas en el principio de Holzwarth.

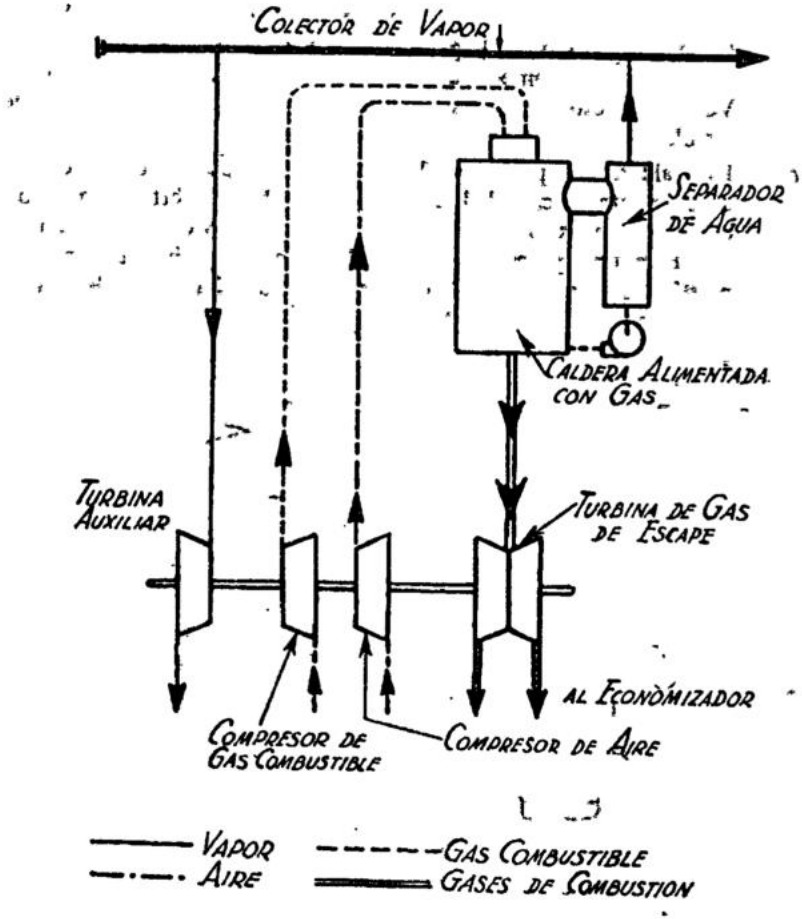


Fig. 32-VI. Diagrama de funcionamiento de la caldera Velox.

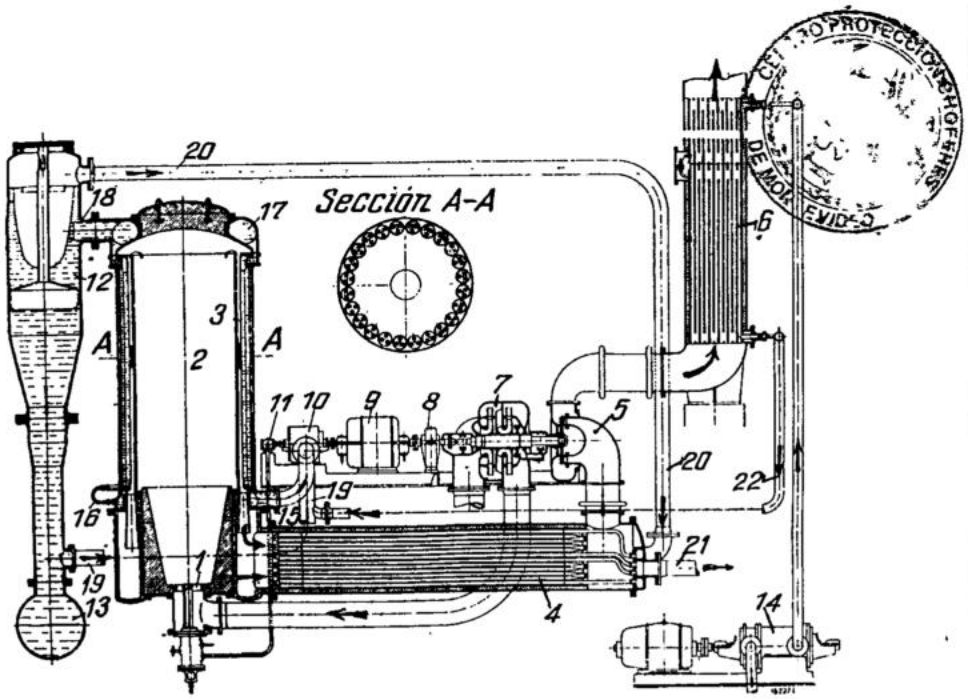


Fig. 33-VI. Esquema de un generador Brown-Boveri-Velox.

En la fig. 32-VI se representa el diagrama de funcionamiento de la caldera Velox, mientras que en la fig. 33-VI se observa el esquema de un generador de vapor Brown-Boveri-Velox de combustión a presión constante para combustible líquido (llama continua).

Veamos el principio según el cual funciona este generador:

"En una cámara de combustión 2,. fig. 33-VI, susceptible de soportar fuertes presiones, se introduce aire mediante el compresor 7 y combustible con la bomba *11*. El aire y el combustible llegan al quemador *1* produciendo una llama continua bajo la presión de 2 a 3 kg/cm^2 abs. Los gases de la combustión circulan a gran velocidad (200 m/s) por los tubos hervidores *3*, enfriados por la circulación de agua. Una transmisión de calor de 10 a 20 veces mayor que la que se obtiene en las calderas corrientes, es consecuencia de la gran velocidad de los gases como también de su elevado peso específico, lo cual permite disminuir en forma sensible la superficie de vaporización y ubicarla completamente en la cámara de combustión. A su salida de la cámara de combustión los gases atraviesan el sobrecalentador de vapor *4*, y llegan a la turbina de gas *5* cuando su temperatura es de aproximadamenet 500° C; luego pasan por el economizador *6* y de allí al conducto de escape. Como la velocidad de los gases es aún muy elevada, tanto en el sobrecalentador como en el economizador, el coeficiente de transmisión del calor es grande y las superficies activas pequeñas.

La turbina de gas *5* mueve al compresor *7* que aspira aire de la atmósfera y lo introduce en la cámara de combustión a través del quemador *1*. Los tubos 3, que constituyen la superficie de vaporización, se encuentran en número de tres y algunas veces en mayor cantidad en cada tubo hervidor atravesado por el agua que circula en la caldera.

La bomba de circulación *10* mantiene, en el generador, la circulación activa del agua; su caudal es un múltiplo de la cantidad de agua evaporada.

El circuito del agua comprende, la cámara inferior de agua de la cámara de combustión y los tubos hervidores *3* unidos por medio de los caños *16*. El vapor de agua, obtenido en estos últimos, pasa con el agua aún no vaporizada a la cámara de combustión y penétra tangencialmente por el caño de unión *18* al separador de vapor *12*, donde bajo la acción de la fuerza centrífuga el vapor se separa del agua. El agua abandona el separador por su parte inferior a través del caño *19* volviendo a la bomba *10*. En la parte inferior del separador existé un recipiente donde se acumulan los depósitos eventuales y las sales con que se ha cargado fuertemente el agua.

El vapor abandona el separador a través de la cañería *20* que lo lleva al sobrecalentador *4* y de allí a las turbinas por el conducto *21*. La bomba *14* envía, a través de la cañería *22*, el agua de alimentación al caño de aspiración de la bomba de circulación *10*, previo paso por el economizador *6*.

El generador descrito funciona según el procedimiento llamado de presión constante puesto que la presión en la cámara de combustión se mantiene inalterable".

17. CALDERAS DE PASO FORZADO

Caldera Benson

Fue propuesta por Mark Benson en 1922 y construida bajo su dirección en 1923, y ha sido desarrollada posteriormente en Alemania por la Siemens-Schuckert Werke.

El diagrama de funcionamiento de esta caldera se observa en la fig. 34-VI. La bomba *B* envía agua a través del economizador *E*; de allí pasa a los tubos *A* que constituyen la protección de las paredes del hogar, y luego a la sección de transición donde se produce la vaporización, para fluir finalmente por el sobrecalentador *S* antes de salir de la unidad.

En estas calderas puede quemarse con éxito petróleo, gas, carbón pulverizado y aun carbón sólido sobre parrillas mecánicas. Las paredes del hogar están completamente protegidas por pantallas de tubos.

Las calderas de la Central de Langerbrügge de las Centrales Eléctricas de Flandes, trabajan con presiones comprendidas entre 110-195 kg/cm^2 y temperatura de 450° C.

Las principales ventajas de estas calderas son:

a) Bajo costo.

b) Peso reducido debido a la ausencia de domos y colectores; alrededor de 2,8 kg de peso por kg de vapor generado por hora.

c) Gran flexibilidad con respecto a la presión y a la temperatura del vapor, como así también para responder a las sobrecargas.

d) Ausencia de peligro por explosiones, dado que sus tubos son de pequeño diámetro, alrededor de 22 mm de diámetro interior y 33 mm el exterior.

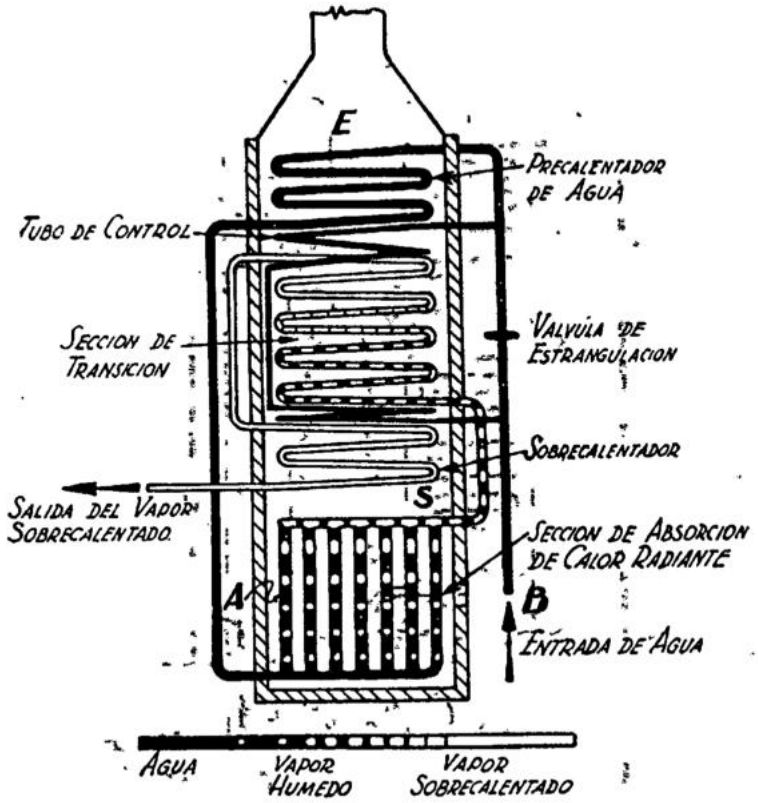


Fig. 35-VI. Diagrama de una caldera Benson.

Este tipo de caldera fue aplicado, también, con éxito en las instalaciones marinas.

Caldera Sulzer monotubo

Esta caldera, fig. 35-VI, para el caso de élevadas presiones y producciones pequeñas se construye de un solo tubo de longitud y diámetro apropiados, en el cual se producen en orden sucesivo las tres fases siguientes: precalentamiento del agua, vaporización y sobrecalentamiento del vapor. Su principio de funcionamiento es semejante al de la caldera Benson.

Cuando pueden construirse con un solo tubo, éste resulta de longitud apreciable aun para el caso de producciones reducidas. En una instalación existente en Suiza que genera 7.500 kg/h de vapor a 150 kg/cm^2 y 400° C, el único tubo de que consta la caldera tiene aproximadamente 1.390 m.

En la fig. 35-VI puede seguirse el circuito de este tipo de generador de vapor. En la Bargoed Colliery of Powell Duffryn Associated Collieries se encuentran instaladas varias calderas Sulzer, que generan, cada una de ellas,

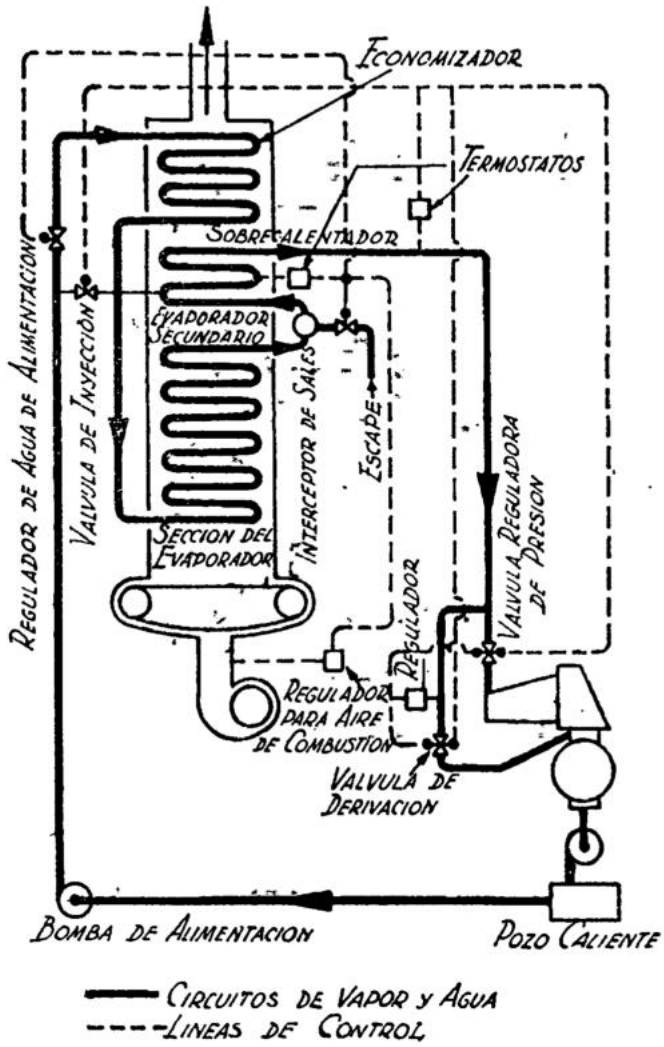


Fig. 35-VI. Diagrama de la caldera Sulzer-Monotubo.

50.000 kg/h de vapor a 100 kg/cm² y 400° C, pudiendo alcanzar en los momentos de picos la producción de 68.000 kg/h.

La caldera Sulzer-Monotubo encontró aplicación marina a bordo del "Kertosono" de la Rotterdam Lloyd Line.

18. CALDERAS PARA LA RECUPERACION DEL CALOR DE ESCAPE

En muchas instalaciones térmicas, con el fin de disminuir las pérdidas se instalan calderas que recuperan parte de los calores perdidos. Si bien existen

algunas industrias cuya explotación económica no sería posible si no estuviese basada en la máxima recuperación del calor transportado por los gases. En las naves movidas por motores Diesel se requiere vapor para calefacción y potencia, vapor que puede obtenerse instalando este tipo de calderas en la cañería de escape de los motores. Dichas calderas actúan entonces como silenciadores eficaces.

Las primeras instalaciones de calderas de escape de diseño moderno se efectuaron en los Estados Unidos en hornos de acero, constituyendo hoy en día parte integrante de esos equipos.

Desde el punto de vista de una política racional del combustible, la instalación de estas calderas importa un medio de preservar las fuentes perecederas de combustible de un rápido agotamiento, y es buscando ese objetivo que deberán alentarse y fomentarse todas esas instalaciones de recuperación.

Las calderas de recuperación operan a temperaturas mucho más bajas que las de hogar (entre 250 y 500 °C), lo que exige grandes coeficientes de transmisión del calor que se obtienen, en este caso apelando a velocidades elevadas de los fluidos (gas y agua).

Dos son los tipos de calderas de recuperación más utilizados, las de circulación natural de tubos de humo o de agua y las de circulación forzada

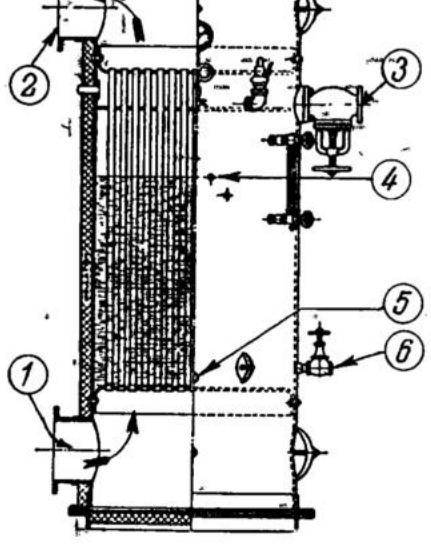


Fig. 36-VI. Caldera de escape Sims de tubos de fuego. 1 - Entrada del gas. 2 - Salida del gas. 3 - Salida del vapor. 4 - Nivel de agua. 5 - Purga. 6 - Alimentación.

En las figs. 36-VI y 37-VI se ven dos calderas pertenecientes al primer tipo. En cambio en la fig. 38-VI puede observarse la caldera de circulación forzada, tipo La Mont de la Combustion Engineering, mientras que en la fig. 39-VI puede verse su instalación en la cañería de escape de un motor Diesel.

Estos generadores de vapor que utilizan el calor de escape se fabrican para operar con motores Diesel de 500 hasta 5.000 CV. Excepto en casos especiales, el vapor generado en motores de menos de 500 CV no es suficiente como para justificar la instalación de unidades recuperadoras, sin embargo en muchas oportunidades la obtención de agua caliente la justifica.

Estas calderas operan con presiones comprendidas entre 1 kg/cm^2 y 15 kg/cm^2 efect.; la producción de vapor disminuye a medida que se requieren mayores presiones.

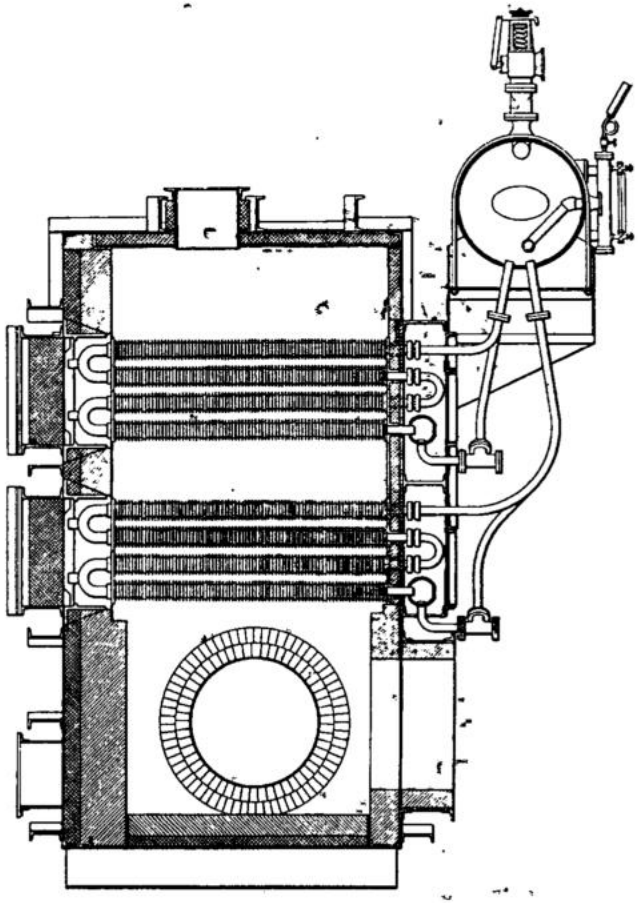


Fig. 37-VI. Caldera de recuperación Foster-Wheeler de tubos de agua.

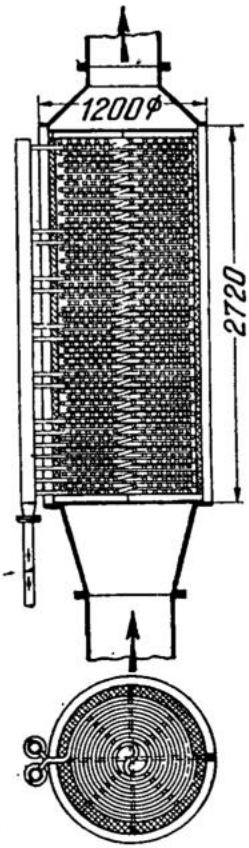


Fig. 38-VI. Caldera La Mont para recuperar el calor de escape de motores Diesel

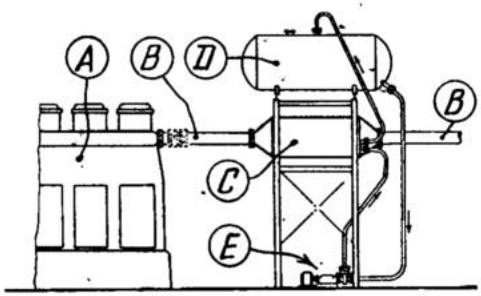


Fig. 39-VI. Instalación de una caldera de escape, de circulación forzada, en un motor Diesel: (A) motor Diesel; (B) caño de escape; (C) caldera de recuperación; (D) domo de agua y vapor; (E) bomba de circulación.

CAPITULO VII

ACCESORIOS DE LAS CALDERAS

1. MANOMETROS

El manómetro es un aparato destinado a medir la presión que reina en la caldera. El conocimiento de esa presión es de interés desde el punto de vista de la seguridad y del funcionamiento económico de la caldera.

En la actualidad se emplean únicamente dos sistemas de construcción de manómetros, a saber, con resorte tubular, fig. 1-VII y con resorte de placa plana, fig. 2-VII.

En el primer tipo llamado también manómetro de Bourdon, se aprovecha la tendencia a enderezarse que experimenta un tubo de bronce curvado, de sección elíptica, cuando se le aplica en su interior una presión superior a la atmosférica.

Generalmente el tubo se curva en arco de circunferencia como puede verse en la fig. 1-VII. Al actuar la presión, en el interior del tubo, su extremo libre describe un pequeño movimiento que es amplificado mediante un sistema

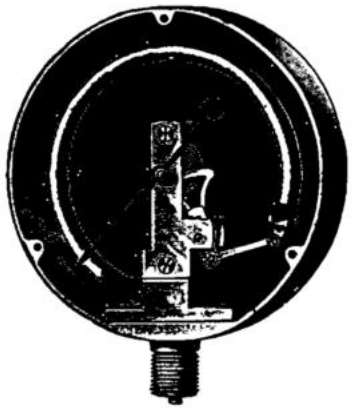


Fig. 1-VII. Manómetro de Bourdon.

de palancas que actúan sobre el sector dentado que hace girar a la aguja indicadora.

El manómetro del segundo tipo, fig. 2-VII y 3-VII, o de Schäffer y Budemberg, se basa sobre la elasticidad de una lámina ondulada que soporta, por un lado, a la presión atmosférica y, por el otro, a la presión de la caldera. Al variar la presión en la caldera cambia la deformación de la placa y, en consecuencia, la indicación suministrada por el aparato.

Fig. 2-VII. Manómetro de Schäffer y Budemberg.

Los manómetros han de montarse para que se hallen, en lo posible, aislados del calor radiante. Además, el tubo de comunicación al manómetro debe estar provisto de un depósito de agua que se obtiene fácilmente dándole la forma de sifón o curvándolo de modo que forme una o dos espiras. Así no es el vapor el que actúa directamente sobre el manómetro sino el agua empujada por aquél, con lo que se evita que la alta temperatura altere la elasticidad del tubo manométrico falseando las indicaciones del aparato.

La esfera del manómetro estará graduada en atmósferas técnicas (atm téc. = 1 kg/cm^2), pudiendo indicar presiones absolutas o presiones relativas.

En el primer caso, cuando en la caldera reine la presión atmosférica la aguja del manómetro indicará 0 kg/cm^2.

La presión máxima de funcionamiento de la caldera estará marcada sobre la esfera del aparato con una raya colorada.

En las calderas sometidas a vibraciones enérgicas, como son por ejemplo las de locomotoras, el manómetro será de doble tubo, semejante al que se indica en la fig. 4-VII.

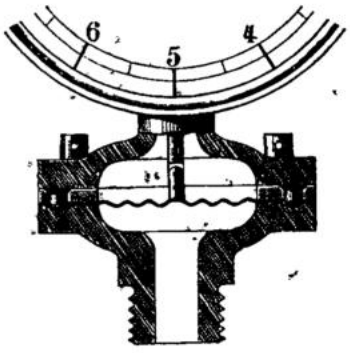


Fig. 3-VII. Detalle del manómetro de la figura 2-VII.

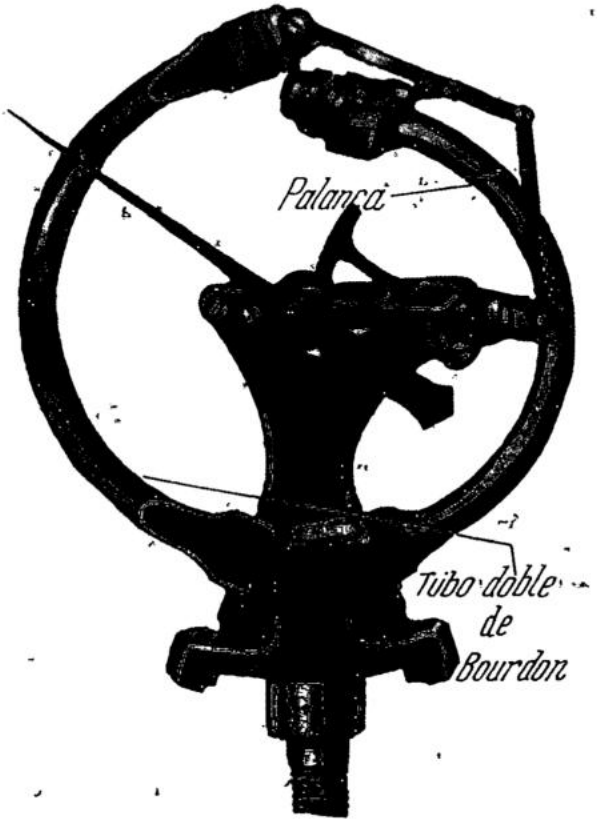


Fig. 4-VII. Manómetro de doble tubo

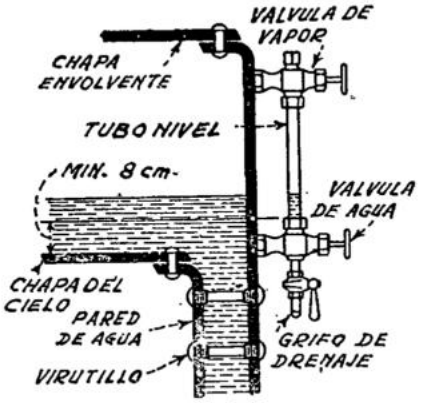


Fig. 5-VII. Tubo de nivel instalado en una caldera del tipo locomotora.

2. INDICADORES DE NIVEL

Los indicadores de nivel, fig. 5-VII, permiten apreciar la altura a que se encuentra el agua en el interior de la caldera. Estos aparatos constan esencialmente de un tubo *V* de vidrio, figs. 6-VII y 7-VII, dispuesto verticalmente y cuyas extremidades se comunican mediante uniones apropiadas, respectivamente, con la cámara de vapor y con la cámara de agua de la caldera, de tal modo que el agua de la caldera y la que se encuentra en el tubo se halle al mismo nivel. Los grifos *r* permiten independizar el tubo de nivel de la caldera ya sea para limpiarlo o para cambiarlo en caso de rotura; el grifo *D* de purga se abre periódicamente para eliminar las sustancias extrañas que se depositan en el fondo del tubo.

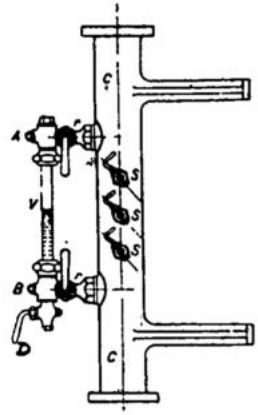


Fig. 6-VII. Tubo de nivel instalado sobre la columna hidrométrica.

Salvo el caso de las calderas marinas y de locomotoras, el tubo de nivel no se fija directamente sobre la caldera sino sobre un tubo de diámetro mucho mayor, que suele llamarse columna hidrométrica, y cuya parte superior está en comunicación con la cámara de vapor, y la inferior con la cámara de agua, figs. 6-VII y 7-VII. Esta columna impide las fluctuaciones excesivas del nivel del agua en los tubos de vidrio provocadas por las corrientes y movimientos bruscos de las ebulliciones tumultosas. El grifo *E*, fig. 7-VII, sirve para purgar esta columna. Para que el nivel del agua se vea más fácilmente, puede usarse el tuvo de nivel tipo Klinger, representado en las figs. 8-VII y 9-VII, cuyo frente está constituído por un cristal plano por fuera y con estrías en su cara interior. Debido a esas

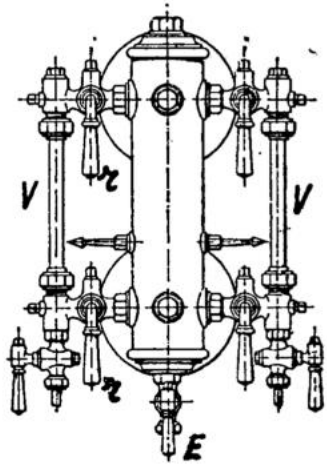


Fig. 7-VII. Dos tubos de nivel instalados sobre la misma columna hidrométrica. Se pueden ver los índices que señalan el nivel normal de la caldera.

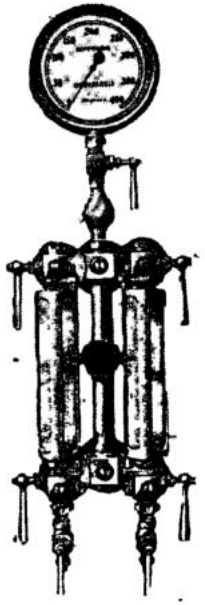


Fig. 8-VII. Tubo de nivel de tipo Klinger.

Fig. 9-VII. Corte a través del tubo de nivel anterior.

Fig. 10-VII. Protección de un tubo de nivel mediante vidrio con inserción de tejido de alambre.

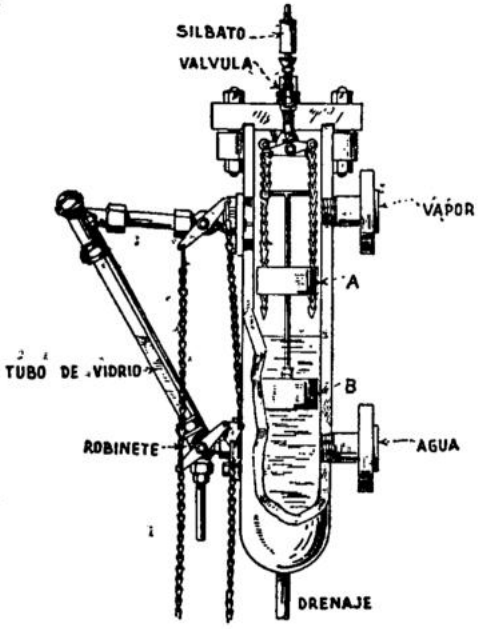


Fig. 11-VII. Columna de agua con silbato de alarma (*Yarnall-Waring Co.*).

estrías se produce un fenómeno óptico que hace aparecer al agua negra y al vapor del color de la plata.

El tuvo de vidrio de los niveles deberá estar provisto de defensas contra los golpes, para preservar al personal en caso de rotura. Estas defensas pueden estar constituidas por redes metálicas o por cajas cuyas paredes son de vidrio de fuerte espesor con inserción de tejido de alambre, fig. 10-VII.

En la fig. 11-VII se ve una columna de agua provista de un sistema de alarma que fabrica la compañía Yarnal-Waring; en dicha columna existen dos flotadores unidos, mediante cadenas, a una palanca que actúa sobre un silbato que se pone en acción cuando el nivel es excesivo. o cuando baja demasiado.

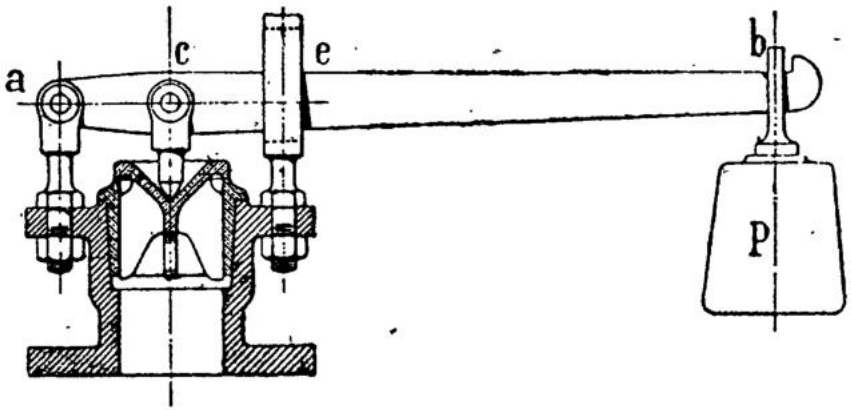


Fig. 12-VII. Válvula de seguridad de palanca, cargada con pesa.

3. VALVULAS DE SEGURIDAD

La misión de la válvula de seguridad es evitar que la presión de la caldera sobrepase el valor normal de operación para la cual ha sido construida, es decir, protege a la caldera contra las presiones excesivas.

Para calderas de pequeña presión y producción reducida se suelen usar válvulas cargadas con pesas como indica la fig. 12-VII. La tendencia actual es la de usar en todos los tipos de calderas únicamente las válvulas cargadas con resorte, fig. 13-VII.

Las válvulas cargadas con pesas tienen el inconveniente de que el operario puede modificar la presión a que se abre o "sopla" la válvula, corriendo la pesa. Puede también el foguista aumentar la presión de soplado agregando pesos sobre el brazo de la válvula, pudiendo llegar a ser tan grande esta presión que la caldera explote, como ha ocurrido en muchas ocasiones, especialmente en las calderas del tipo locomóvil de la campaña y de las trilladoras cuando gente inexperta se ocupaban de ellas.

En las de resorte, por su construcción misma y por existir un candado de seguridad no pueden ocurrir estos inconvenientes.

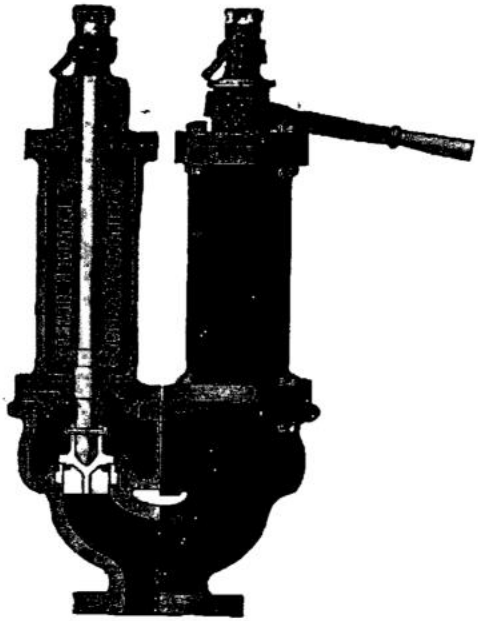


Fig. 13-VII. Válvula de seguridad Hopkinsons de resorte.

4. INYECTORES

El inyector es un accesorio de la caldera que sirve para suministrarle agua utilizando el mismo vapor que ella produce. El agua penetra en la caldera donde existe la misma presión que la del vapor que se utiliza para hacer funcionar al inyector. En la fig. 14-VII, se ha representado, esquemáticamente, la instalación de un inyector. Consta de dos toberas T_1 y T_2, y del difusor T_3 y de las cámaras B y D.

Cuando se abre la válvula del vapor éste se expande al atravesar la tobera T_1 y adquiere así gran velocidad creando cierta depresión en la cámara B, eliminando el aire de la misma que sale mezclado con vapor por el tubo de descarga E, motivo por el cual asciende el agua por el caño C. Esta agua se mezcla con el vapor que sale de la tobera T_1. El vapor, en contacto con el agua que está mucho más fría que él, se condensa cediendo a aquélla toda su energía de velocidad e impulsándola por la tobera T_2 donde, debido a la forma de este elemento, el agua adquiere aún mayor velocidad.

El agua, a elevada velocidad, que sale de T_2 penetra en el difusor T_3 donde pierde velocidad y aumenta su presión hasta hacerse mayor que la de la caldera lo que le permite vencer a la válvula de retención y penetrar en aquélla.

Cuando el aparato comienza a funcionar, la presión que adquiere el agua no es suficiente para vencer a la válvula de retención y, entonces, se ve salir agua por el caño de descarga E, y después de cierto tiempo, cuando el aparato se ha "cebado", funciona normalmente.

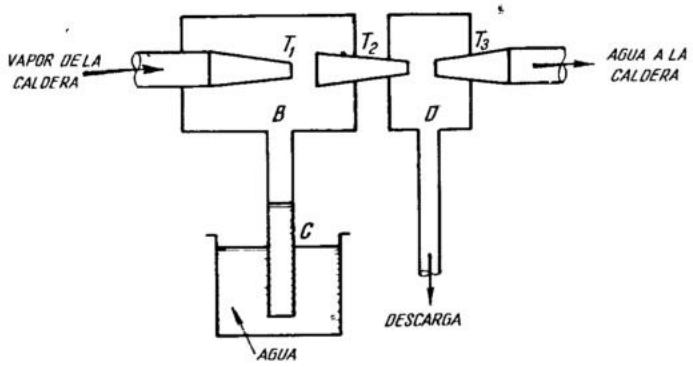


Fig. 14-VII. Principio de funcionamiento del inyector de vapor.

El agua que debe aspirar el aparato no ha de ser muy caliente, su temperatura no debe sobrepasar 40° C, porque al estar muy caliente, la depresión que produce en *B* el chorro de vapor provoca la vaporización del agua que se encuentra en el caño de aspiración *C*, y, entonces, lo único que pasa a *D* es vapor que escapa por *E*.

En las figs. 15-VII y 16-VII, se ven dos inyectores de vapor, modernos. Varias son las causas por las cuales un inyector no funciona.

a) El agua que debe aspirar está muy caliente.

b) El nivel del agua que debe aspirarse está muy bajo.

c) Hay fugas en el caño de aspiración que no permiten que se cree vacío en *B*.

d) La presión del vapor es muy baja.

e) El vapor es muy húmedo y no permite que se produzca la suficiente condensación del chorro de vapor que sale por T_1 al mezclarse con el agua.

f) Las toberas y caños están cubiertos de incrustaciones o tapados con suciedades.

g) El caño de aspiración o el de impulsión están taponados.

h) Alguna parte del aparato está gastada.

i) La válvula de retención pierde y permite, entonces, que haya descarga de vapor hacia el inyector.

Entre las ventajas que ofrece el inyector citaremos las siguientes:

1. Es pequeño y muy compacto.
2. Su costo de adquisición es reducido.
3. Los gastos de manutención son pequeños.
4. Prácticamente no tiene órganos en movimiento.
5. No requiere lubricación.

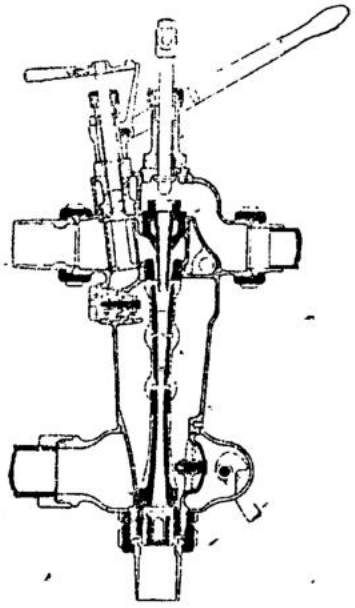


Fig. 15-VII. Inyector del tipo de aspiración.

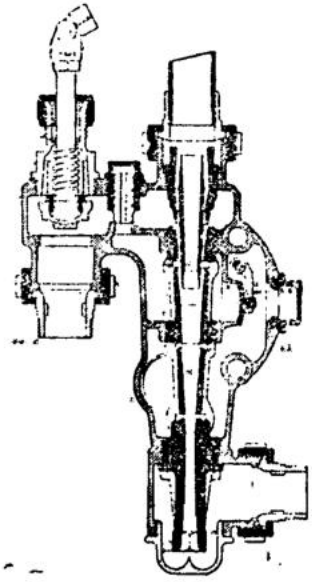


Fig. 16-VII. Inyector del tipo inundado.

6. Su manejo es sencillo.
7. Es de rendimiento térmico elevado.

Sus desventajas son:

1. No puede trabajar con agua muy caliente.
2. Como la cantidad de agua que puede enviar es limitada, su funcionamiento es, en general muy intermitente a menos que la caldera opere con carga constante y se pueda regular el inyector para que mantenga el nivel constante.
3. Con carga variable, el inyector debe ponerse en funcionamiento y detenerse con mucha frecuencia, y por eso existe el peligro de que el nivel en la caldera descienda por debajo del nivel mínimo de seguridad, cuando el inyector no funciona.
4. Su funcionamiento con vapor sobrecalentado no es muy eficiente.
5. Su consumo de vapor es grande, comparado con el de las bombas para condiciones similares de funcionamiento.

5. BOMBAS

Las calderas pueden ser alimentadas también mediante bombas de estos tres tipos.

a) Bomba de pistón de movimiento alternativo.
b) Bomba centrífuga.
c) Bomba rotativa, de engranajes, de lóbulos que engranan entre sí o de lóbulos deslizantes u oscilantes.

Las bombas de pistón de movimiento alternativo accionadas con vapor son semejantes a la indicada en la fig. 17-VII, llamada *duplex* pues posee dos cilindros de vapor y dos cilindros para el bombeo de agua. Como se puede ver, esta máquina no tiene sistema de biela ni manivela como es corriente en todas las máquinas de vapor de movimiento alternativo[1]. En este caso, el accionamiento de la distribución de un cilindro es efectuado por el vástago del pistón del cilindro opuesto con un sistema de palancas como se indica en la fig. 18-VII. Estas bombas pueden ser movidas, también, con motor eléctrico, entonces sí existe un sistema de biela manivela.

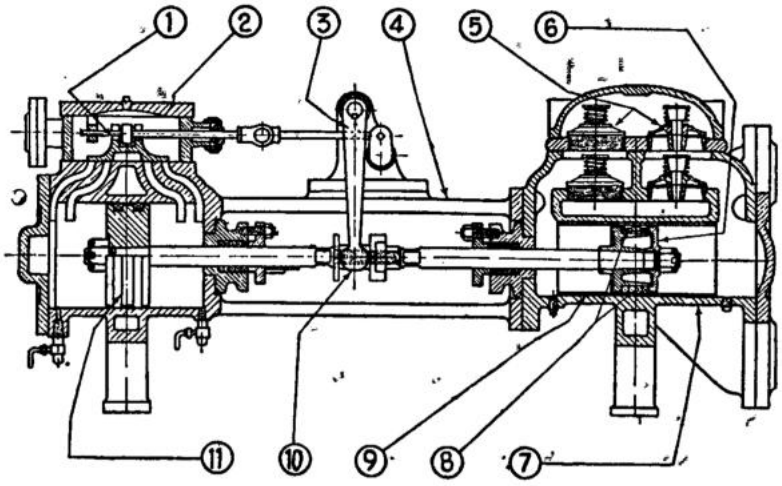


Fig. 17-VII. Bomba Worthington duplex, accionada a vapor.

1. Corredera plana sencilla.
2. Tapa para acceso a la corredera.
3. Palanca forjada de acero.
4. Unión rígida de fundición.
5. Válvulas de bronce, asientos y resortes.
6. Prisión removible.
7. Cilindros gemelos de la bomba.
8. Aros.
9. Camisa postiza centrifugada.
10. Vástagos.
11. Aros de auto ajuste que aseguran hermeticidad con fricción reducida.

[1] Para estudiar como actúa el vapor en el cilindro de una máquina de vapor, el lector puede consultar: M. Mesny, *Máquinas de vapor*, 1949.

Para alimentar las calderas existe en la actualidad una tendencia a sustituir las bombas de pistón por bombas rotativas centrífugas; estas últimas son accionadas ya sea con turbinas de vapor o con motor eléctrico.

En una bomba centrífuga, una o más ruedas que giran, y que constituyen el rotor, están rodeadas por una carcaza fija,, figs. 19-VII y 20-VII. Al girar estas ruedas, el agua es aspirada por el centro a través de la cañería de succión y es impulsada hacia la periferia por acción de la fuerza centrífuga. El agua abandona el rotor a elevada velocidad, convirtiéndose luego su energía cinética en energía de presión en la carcaza debido a su forma de difusor. Cuando la bomba es de una sola rueda se llama de una etapa, si tiene dos de dos etapas y así sucesivamente.

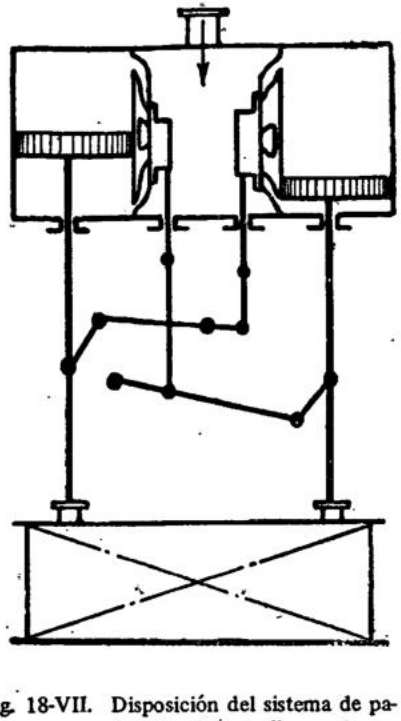


Fig. 18-VII. Disposición del sistema de palanca en una bomba "duplex" para lograr la correcta distribución del vapor en los cilindros motores.

En las bombas rotativas el líquido es bombeado mediante elementos de distintas formas que giran en una carcaza con juegos muy pequeños. El movimiento de estos elementos crea cierta depresión en la cañería de succión aspirando el agua. En el caso de la bomba de engranajes, fig. 21-VII, estos engranan con un juego muy pequeño, y existe además una luz muy reducida entre las cabezas de los dientes y la carcaza. Cuando la bomba funciona, el agua aspirada se introduce entre los dientes y la carcaza siendo así arrastrada hasta la descarga.

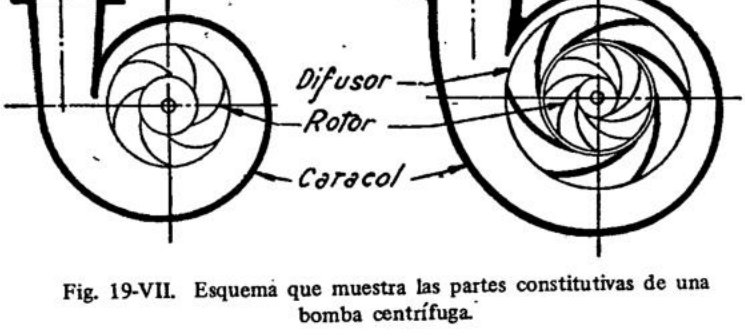


Fig. 19-VII. Esquema que muestra las partes constitutivas de una bomba centrífuga.

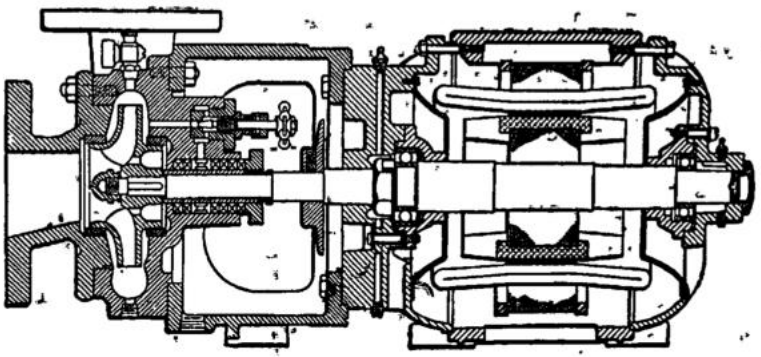


Fig. 20-VII. Bomba centrífuga de una etapa accionada por motor eléctrico.

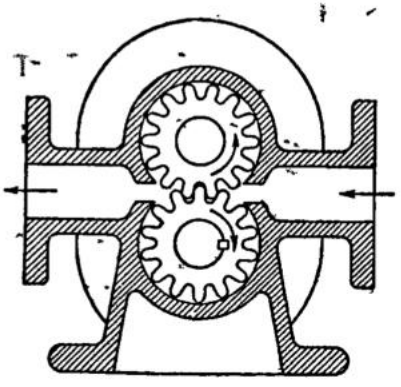


Fig. 21-VII. Bomba rotatoria del tipo de engranajes.

En la fig. 22-VII se ve una bomba del tipo de tornillo en la cual el agua penetra por el centro y es forzada hacia la descarga a lo largo de las ranuras en espiral de los rotores.

Normalmente se prefiere, para bombear el agua en las calderas, las bombas de pistón de movimiento alternativo y las bombas centrífugas.

Las ventajas que ofrecen las bombas con respecto a los inyectores son:

1. Pueden ajustarse para alimentar la caldera en forma continua o variable, y entonces no es necesario detenerlas y ponerlas en marcha con frecuencia.
2. Consumen mucho menos vapor.
3. Bombean agua caliente.
4. Sus capacidades de bombeo son mucho más amplias.
5. Permiten el empleo económico de su vapor de escape para calentar el agua de alimentación.

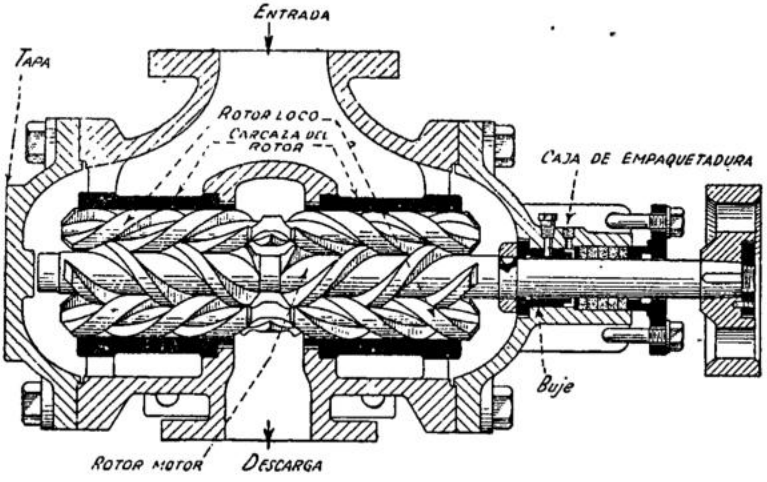


Fig. 22-VII. Bomba rotatoria del tipo de "tornillo".

6. REGULADOR AUTOMATICO DEL NIVEL DE AGUA EN LAS CALDERAS

En el caso de pequeñas instalaciones de vapor, con calderas de gran volumen de agua, no es tarea difícil para el fogonero mantener el nivel de la caldera aproximadamente constante. Basta que se fije periódicamente en la indicación suministrada por el tubo de nivel y que de acuerdo con ello y con la demanda de vapor se ajuste el funcionamiento de las bombas para restablecer el nivel a su valor normal. En cambio, cuando se trata de instalaciones de consideración, y, especialmente, cuando las calderas son del tipo de tubo de agua y de reducido volumen, el mantenimiento del nivel normal no puede ser confiado al personal, pues en este caso, un descuido de pocos minutos en la alimentación de la caldera cuando ésta funciona a plena carga, puede tener consecuencias fatales. Se impone, entonces, la instalación de sistemas automáticos de alimentación, que *no se olvidan* de mandar agua a la caldera.

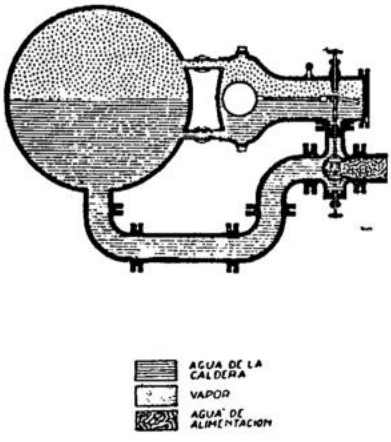


Fig. 23-VII. Regular de nivel a flotador.

Las ventajas que reporta la alimentación automática, pueden resumirse en estos tres puntos fundamentales:

1. Mayor seguridad
2. Mayor rendimiento.
3. Menor gasto de mantenimiento.

Con estos aparatos es posible mantener el nivel del agua dentro de límites preestablecidos, de acuerdo con las variaciones de carga de la caldera, eliminándose así los peligros de la disminución excesiva del nivel, que al dejar sin agua a parte de la longitud de los tubos los expone al recalentamiento y a roturas con el consiguiente aumento de los gastos de mantenimiento. Se evita también que el nivel del agua ascienda demasiado, con lo que aumentaría la humedad del vapor generado.

Hay muchos tipos de reguladores automáticos de nivel, pero describiremos solamente al regulador de nivel mediante flotador.

Como se ve en la fig. 23-VII, la cámara donde se encuentra el flotante está en comunicación con las cámaras de vapor y de agua de la caldera.

Al bajar el nivel del agua en la caldera, también baja el de la otra cámara, descendiendo el flotante que acciona a la válvula, permitiendo así la entrada de agua en la caldera. Cuando el agua adquiere el nivel normal se cierra la válvula y se interrumpe la entrada de agua a la caldera.

7. SEPARADORES DE VAPOR

Cuando la caldera no está provista de sobrecalentador el vapor que ella suministra lleva agua en suspensión, es decir, es vapor húmedo.

Como es sabido, la humedad del vapor es inconveniente para el funcionamiento de algunas máquinas, es necesario instalar entonces aparatos que eliminen esa humedad; estos son los separadores de vapor que se instalan en la cañería de conducción del vapor lo más cerca posible de las máquinas primarias.

El principio de funcionamiento de muchos de estos aparatos consiste en obligar al vapor a cambiar bruscamente de dirección. En las figs. 24-VII y 25-VII, se observan dos separadores de vapor que aprovechan aquel principio sumado a la acción de la fuerza centrífuga.

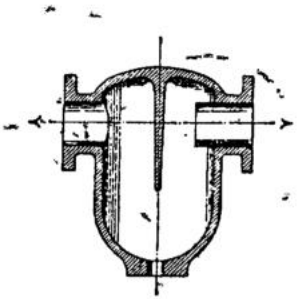


Fig. 24-VII. Separador de vapor de pared simple. En su parte inferior se instala un grifo o una trampa de vapor.

Los separadores de vapor han de inspeccionarse regularmente, retirándose todos los depósitos de grasas y de materias extrañas que hayan llegado hasta ellos. Conviene proveer a estos aparatos de un tubo nivel para cerciorarse de su funcionamiento.

El agua que se acumula en un separador debe purgarse oportunamente con un grifo, operación que debe realizarse automáticamente si se quiere que el aparato funcione bien. Para ello se utilizan trampas de vapor que permiten la salida del agua pero no del vapor.

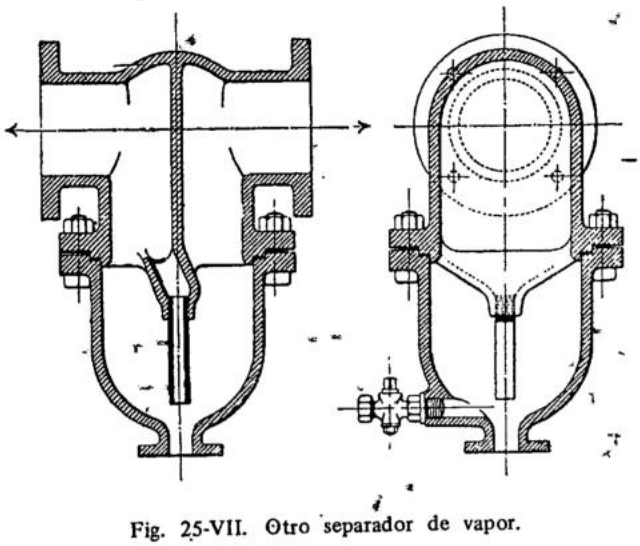


Fig. 25-VII. Otro separador de vapor.

8. SEPARADORES DE ACEITE

Fig. 26-VII. Una lluvia de agua moja los bafles en este separador Wright-Austin, cuando se usa al vacío.

Cuando se utiliza el vapor de escape para procesos de fabricación es necesario, en la mayoría de los casos, separar el aceite que arrastra.

Los separadores de aceite que se construyen pueden incluirse en algunos de estos grupos.

1. De *tabiques o bafles* en los cuales la corriente de vapor es interceptada por placas corrugadas o estriadas, rejillas, tejidos de alambre, etc., a los que se adhieren las gotas de agua y el aceite arrastrados, fig. 26-VII.

2. Por *desviación brusca de la corriente de vapor*, así el agua y el aceite, arrastrados por el vapor, son lanzados hacia el colector, debido a su mayor peso específico, figs. 27-VII y 28-VII.

3. Por *fuerza centrífuga*. Al impartir al vapor un movimiento giratorio la fuerza centrífuga lanza hacia los costados a las partículas de aceite y de agua arrastradas, figura 29-VII.

3. Por *absorción y filtrado*. El aceite y el vapor atraviesan filtros de material absorbente, tejidos de alambre finos, etc., que retienen el aceite y dejan pasar el vapor.

En los separadores usados en la práctica se aplican uno o más de los principios citados.

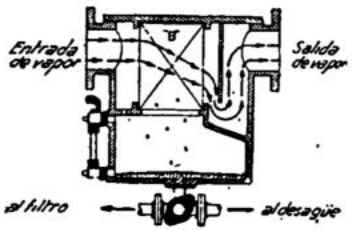


Fig. 27-VII. En el North Eastern Interceptor, los bafles "B" someten el vapor a una violenta acción de embate.

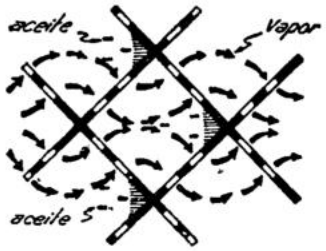


Fig. 28-VII. Detalle de una célula del elemento intercambiable "B" del North Eastern Interceptor, ilustrado en la fig. 27-VII.

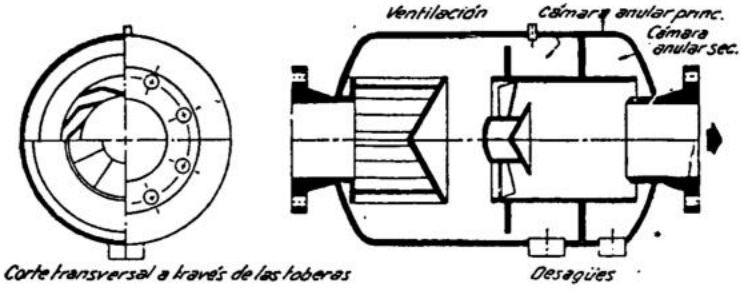


Fig. 29-VII. El separador Centrifix, para cañerías de gran diámetro, posee una "tobera helicoidal" especialmente proyectada para impartir un movimiento giratorio al vapor de entrada de modo que las impurezas sean lanzadas hacia los costados por efecto de la fuerza centrífuga.

9. TRAMPAS DE VAPOR

Son aparatos que sirven para extraer el agua que se acumula en un separador de vapor o en las cañerías que conducen vapor. Las hay de varios tipos, pero describiremos únicamente dos de ellas.

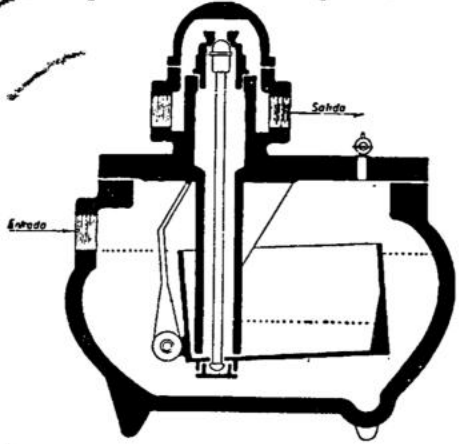


Fig. 30-VII. Trampa de flotante abierto.

En la fig. 30-VII, se ve una de estas trampas de vapor en la cual el agua que penetra va llenando la cuchara o flotante abierto, hasta que la cantidad de líquido sea suficiente para hacerlo descender y abrir la válvula ubicada en el extremo del vástago, lo que permite la salida del condensado. Cuando ha desaparecido cierta cantidad de agua de la cuchara ésta vuelve a flotar cerrándose la válvula. El condensado sale de la trampa al

abrirse la válvula debido a que en su interior la presión es mayor que la exterior.

La trampa de vapor termostática "Sarco" está representada en la fig. 31-VII siendo su funcionamiento el siguiente: el fuelle flexible ha sido

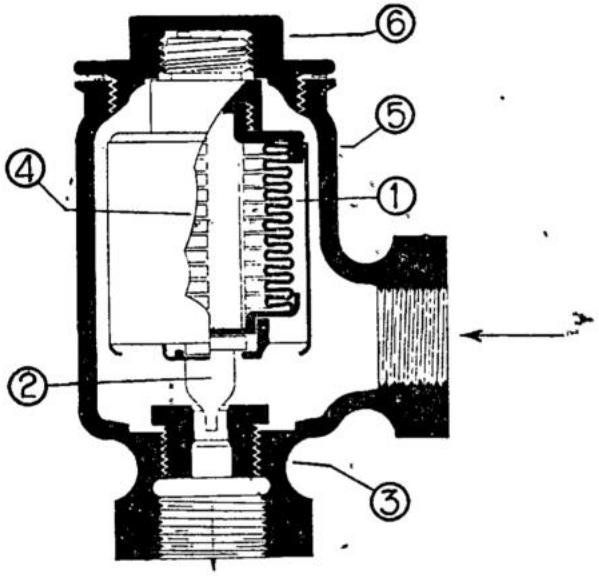


Fig. 31-VII. Trampa termostática "Sarco" de alta presión.

llenado parcialmente con un líquido volátil y cerrado herméticamente. Cuando el vapor llega a la trampa calienta el fuelle *1* se expande, debido a que el líquido que contiene hierve y se vaporiza creando una presión ligeramente superior a la exterior a que se halla sometido el fuelle. Debido a ello la válvula *2* se apoya sobre el asiento *3* y así el vapor no puede escapar. Cuando llega condensado a la trampa hasta quedar sumergido el fuelle, su menor temperatura hace contraer al mismo por condensación del vapor que existe en él; se abre la válvula *3* y el condensado escapa hasta que nuevamente la llegada de vapor calienta el fuelle, vaporiza el líquido, aquel se dilata y se cierra la válvula.

10. TAPON FUSIBLE

Es un elemento que se instala en la caldera, en aquel punto de la superficie de calefacción más abajo del cual no debe descender el nivel del agua, por los peligros que ello entraña.

Consiste este elemento de un tapón de bronce, de las formas indicadas en la fig. 32-VII, con rosca fina para atornillarse a la chapa de la caldera.

Este tapón se rellena con un metal o aleación que funden a baja tempera-

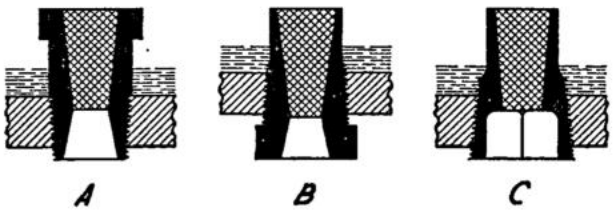


Fig. 32-VII. Tres distintos tipos de tapones fusibles.

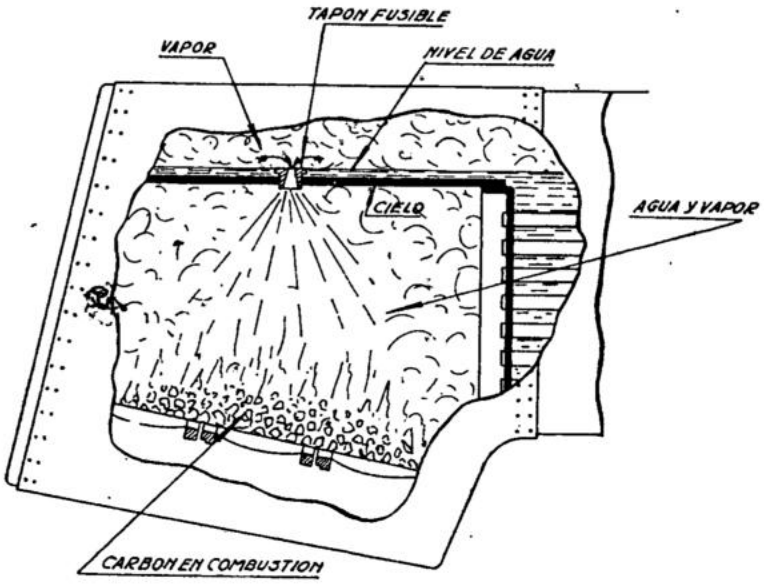


Fig. 33-VII. Tapón fusible instalado en el cielo del hogar de una caldera de locomotora.

tura. En general, se trata de estaño puro cuyo punto de fusión es de alrededor de 230° C, o si no, de una aleación de plomo y estaño, que se fija mejor en el interior del tapón.

Normalmente, un extremo del tapón está sometido al calor de las llamas, o de los gases calientes, mientras que el otro está cubierto por el agua.

Cuando el nivel de esta última desciende hasta dejar al descubierto el tapón, el calor que se acumula en el metal con que se lo ha rellenado lo hace fundir escapando, entonces, vapor de la caldera, como puede verse en la fig. 33-VII, que anuncia al fogonero que el nivel del agua a bajado hasta un punto que hace peligroso continuar con el funcionamiento de la caldera.

En las calderas de locomotoras el tapón fusible se instala en la parte más alta del cielo del hogar, fig. 33-VII. Para su ubicación en otros tipos de calderas deben consultarse las normas que existen sobre este particular.

El tapón fusible debe renovarse una vez por año; se recomienda no volver a rellenar un tapón que se haya fundido.

Cada vez que se limpia o inspecciona una caldera debe eliminarse las incrustaciones y el hollín que pueda existir sobre los extremos del tapón fusible.

11. SOPLADORES DE HOLLIN Y APARATOS PARA ELIMINAR LAS INCRUSTACIONES

Durante el funcionamiento de la caldera se depositan sobre sus tubos hollín y cenizas, y como estas sustancias son malas conductoras del calor deben eliminarse.

La remoción de los depósitos de hollín debe hacerse frecuentemente. El tiempo entre dos limpiezas depende del combustible quemado.

Cuando los depósitos son recientes y no han tenido tiempo de coquizar y formar una capa adherente y fuerte, pueden eliminarse por medio de los sopladores de hollín. Estos aparatos, fig. 34-VII, se fijan en el revestimiento de la caldera y constan de un cabezal de maniobra y de un tubo con cierto número de perforaciones o toberas que permiten dirigir chorros de vapor o de aire de gran velocidad sobre las superficies que deben limpiarse.

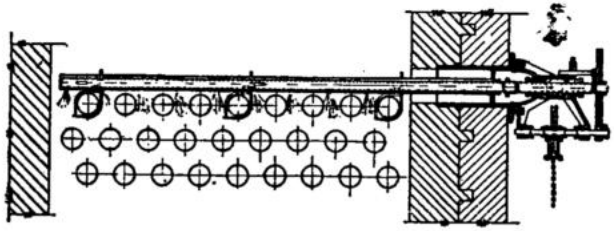


Fig. 34-VII. Soplador de hollín tipo multitobera rotativo.

Si el hollín se ha coquizado deben emplearse cepillos o rascadores que se adaptan especialmente para limpiar tubos de humo. En la fig. 35-VII, se indican dos tipos de cepillos empleados para este fin.

Las incrustaciones se eliminan de los tubos por medios mecánicos. Existen dos tipos diferentes de estos aparatos: los de vibración y los de corte. Generalmente se accionan por medio de aire, y algunas veces con vapor, hidráulicamente o electrónicamente.

En la fig. 36-VII se indica un aparato, para remover las incrustaciones, del tipo rotativo y de cabeza vibratoria, mientras que la fig. 37-VII muestra distintas cabezas que pueden ser utilizadas con el aparato anterior, de acuerdo con la naturaleza de los depósitos.

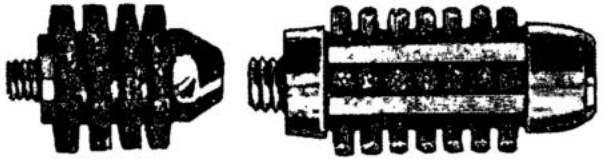


Fig. 35-VII. Dos tipos distintos de cepillos para limpiar tubos.

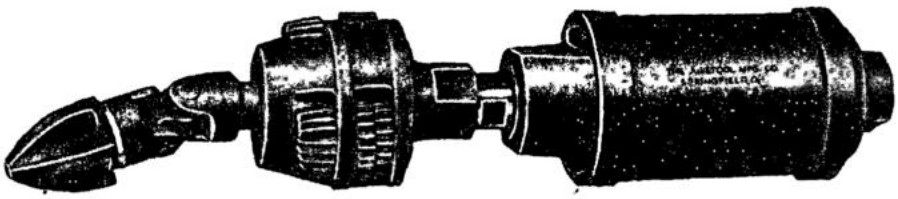


Fig. 36-VII. Aparato removedor equipado con cabeza cortante.

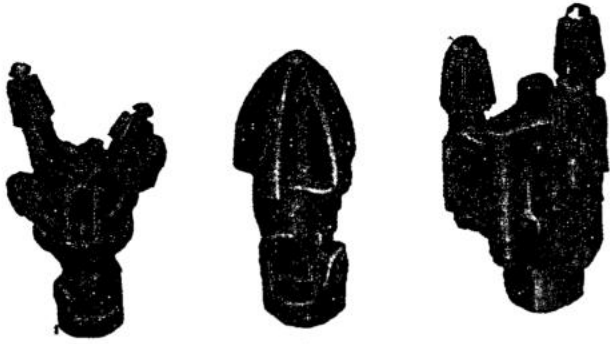


Fig. 37-VII. Distintas cabezas removedoras de incrustaciones.

12. PUERTAS Y TAPONES DE INSPECCION Y LIMPIEZA. ENTRADA DE HOMBRE

La entrada de hombre es una abertura practicada en el domo de la caldera tal como puede verse en la fig. 4-VI indicada con la letra *E*.

En la fig. 38-VII, se ve en detalle como está construída esta abertura y su respectivo cierre. Se observa que es de forma elíptica siendo la tapa más grande que la abertura. La forma elíptica permite que se pueda introducir la tapa en la caldera aún cuando es más grande que el agujero, para ello basta enfrentar el eje menor de la tapa con el eje mayor de la abertura. Colocando la tapa en el interior de la caldera la presión del vapor favorece el cierre sin necesidad de hacer grandes esfuerzos sobre los tornillos.

Las dimensiones de la abertura o agujero de hombre deben ser tales que permitan la entrada de un hombre ya sea para tareas de inspección o de limpieza. Esta abertura es también necesaria para que durante la construcción pueda realizarse la remachadura de los fondos de la caldera.

Los tapones de limpieza son orificios más pequeños tales como los indicados con la letra *M* en las figs. 19-VI y 24-VI. Cierto número de ellos se encuentran en la proximidad de los lugares donde se acumula barro en las calderas para que así se lo pueda retirar, y otros como los de la fig. 24-VI deben

ser de dimensiones suficientemente grandes como para que puedan pasar por ellos los tubos y poder realizar el cambio de los mismos e introducir el aparato que sirve para mandrilar sus extremos.

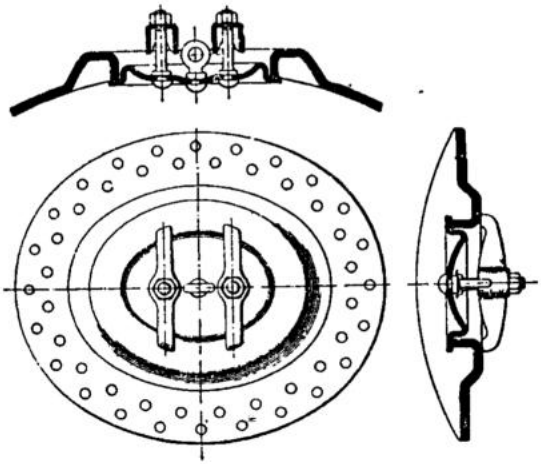


Fig. 38-VII. Detalles de la construcción de una entrada de hombre.

13. ECONOMIZADORES

En la fig. 39-VII, se ve el esquema de una instalación de caldera provista de economizador, sobrecalentador y calentador de aire.

El economizador es un aparato que calienta el agua que se envía a la caldera, aprovechando parte del calor contenido en los gases que escapan a la chimenea. Dicho aparato está constituído por un haz tubular por el interior del cual circula agua y por su exterior los gases de la combustión, fig. 40-VII.

Su nombre, "economizador", da idea de economía, y efectivamente es lo que ocurre cuando se instala un aparato de éstos, pues al calentar el agua con el calor de los gases aquella entra más caliente a la caldera y es necesario gastar, entonces, menos combustible para producir la misma cantidad de vapor que en el caso en que el agua entra fría.

La temperatura del agua que ingresa al economizador depende de su procedencia, según que sea de fuente natural, de un evaporador, del condensador de una turbina o de un calentador de agua. No conviene alimentar el economizador con agua cuya temperatura sea inferior a 30 ó 50° C, para evitar la condensación de la humedad de los gases, sobre la superficie exterior del aparato próxima a la entrada del agua, pues esto produce la oxidación de los tubos y su corrosión por el ácido, que origina el anhídrido sulfuroso que llevan aquéllos cuando se queman carbones que contienen azufre, y que se incorpora al condensado.

Los economizadores pueden hacerse con tubos aletados. Los tubos con aletas tienen la ventaja de aumentar la superficie de absorción de calor,

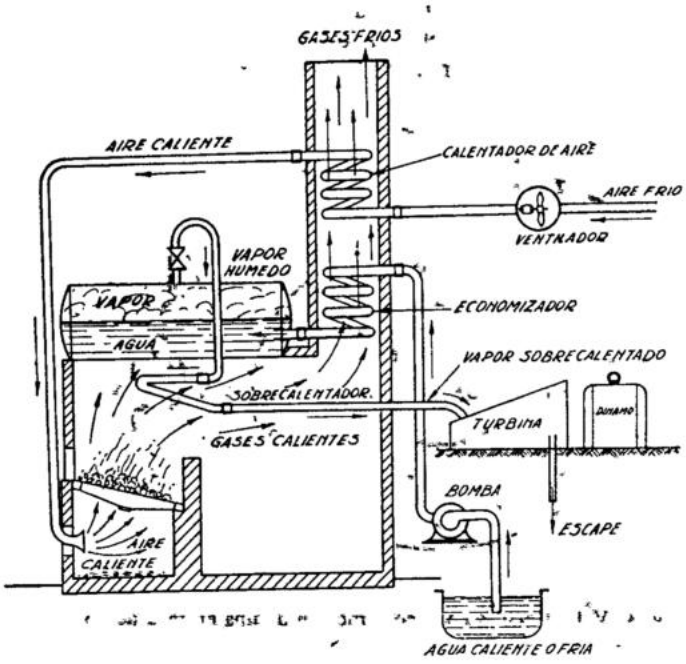


Fig. 39-VII. Detalle de una instalación de caldera con economizador, sobrecalentador y calentador de aire.

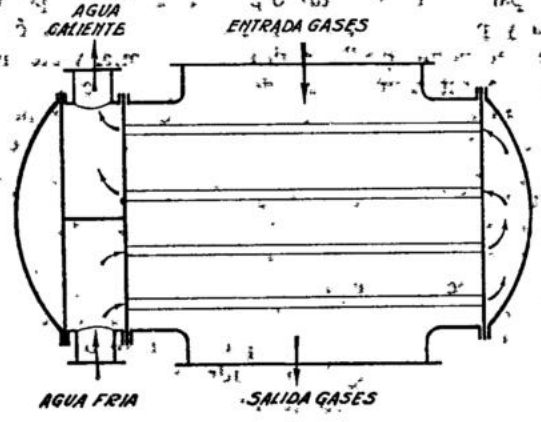


Fig. 40-VII. Esquema de un economizador.

obteniéndose, además, mayor transmisión por unidad de superficie barrida por los gases que con los tubos lisos.

En la fig. 41-VII, se ve al economizador "Economax" también de tubos aletados. Sobre la superficie exterior de los tubos se deposita hollín y cenizas, que se pegan si hay condensación, y forman una capa que dificulta el paso del calor. Es necesario, entonces, proveer a los economizadores de sopladores de hollín o de rascadores. Los primeros pueden instalarse en los aparatos provistos con cualquiera de los dos tipos de tubos, mientras que los segundos únicamente en los de tubos lisos.

Para facilitar las reparaciones y puesta fuera de servicio del economizador suele instalárselo en derivación sobre el conducto de humos como se ve en la fig. 42-VII, disponiendo debajo de él una cámara para hollín. En el frente y en la parte posterior del aparato existen puertas de acceso que permiten el fácil intercambio de los tubos.

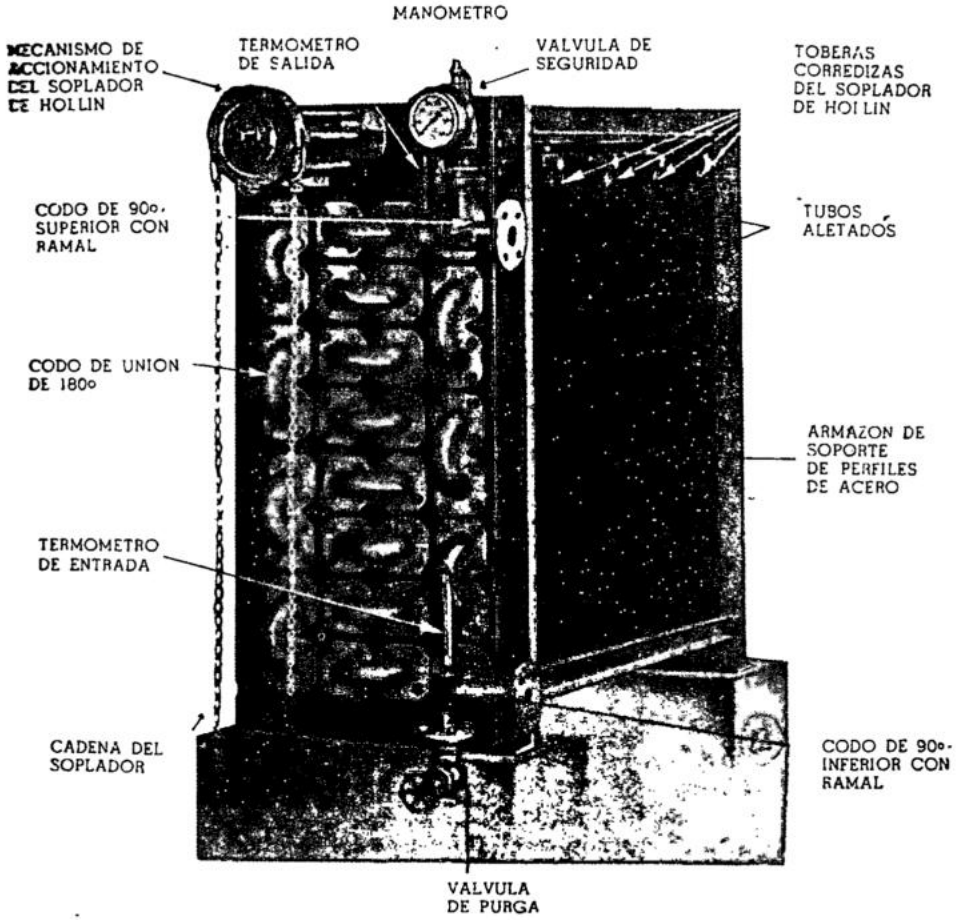


Fig. 41-VII. Economizador de tubos aletados "Economax". (Gentileza Mellor-Goodwin).

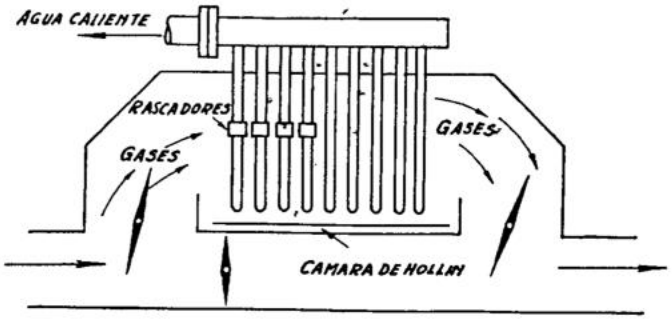


Fig. 42-VII. Economizador instalado en derivación sobre el conducto de humos.

14. SOBRECALENTADOR DE VAPOR[1]

Ya se vio en el Capítulo I en que consiste un vapor sobrecalentado; recordaremos que se trata de un vapor cuya temperatura es superior a la de ebullición correspondiente a la presión a que está sometido.

El vapor sobrecalentado no contiene humedad y su empleo en las turbinas y en ciertos tipos de máquinas reporta muchos beneficios.

El sobrecalentamiento del vapor se realiza en un aparato llamado sobrecalentador, que se ubica, como puede verse en la fig. 39-VII. Consta de un haz de tubos en cuyo interior circula el vapor mientras que los gases calientes, de la combustión, barren su superficie exterior.

Dado que el vapor se sobrecalienta aprovechando el calor contenido en los gases de la combustión, si se agrega un sobrecalentador á una caldera de determinado poder vaporizante, ésta absorberá más calor y los gases saldrán más fríos.

En consecuencia, una instalación equipada con sobrecalentador producirá más vapor con el mismo consumo de combustible, o la misma cantidad con menor consumo que la misma instalación cuando genera vapor saturado. Es por ese motivo que para igualdad de potencia las calderas modernas tienen menor superficie de calefacción.

Hoy en día se han alcanzado temperaturas finales de sobrecalentamiento vecinas a 610° C, habiéndose adoptado en las centrales térmicas temperaturas de 450 y 500° C.

En la fig. 43-VII, se ve un sobrecalentador "Elesco" y en la fig. 44-VII, su ubicación en una caldera seccional.

Los sobrecalentadores también se construyen con tubos aletados para aumentar la superficie de transmisión del calor.

En las calderas de locomotoras el sobrecalentador se instala en los tubos de fuego de mayor diámetro como puede verse en la fig. 15-VI.

[1] Impropiamente llamado recalentador.

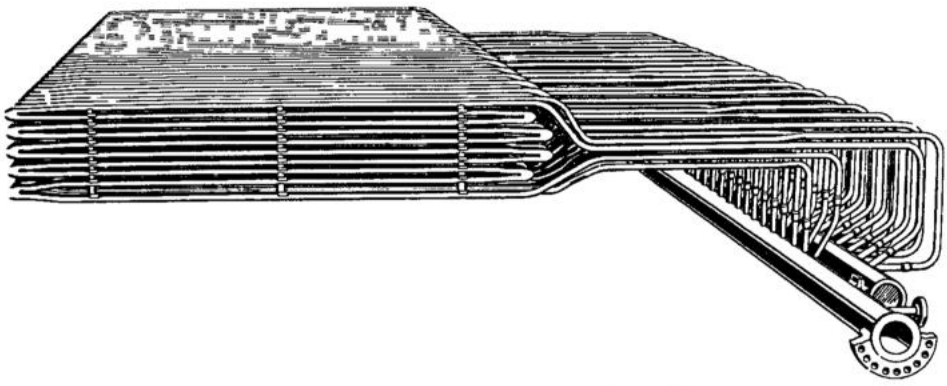


Fig. 43-VII. Sobrecalentador "Elesco".

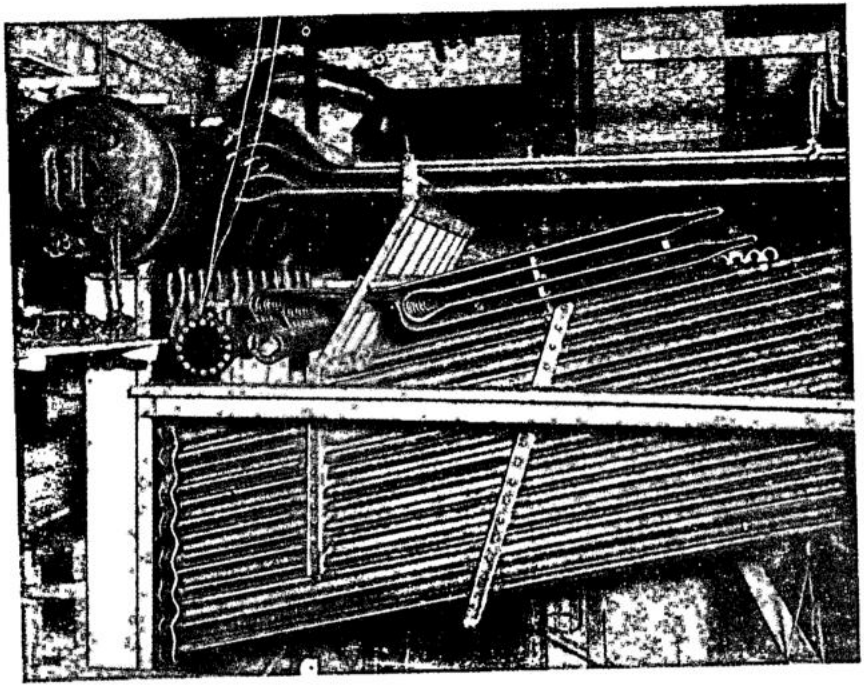


Fig. 44-VII. Sobrecalentador "Elesco" instalado en una caldera seccional C-E, de la Combustion Engineering Co.

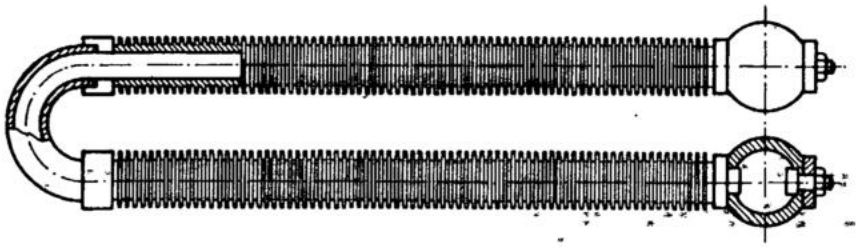


Fig. 45-VII. Sobrecalentador de tubos aletados de la Foster-Wheeler.

15. DESOBRECALENTADOR

Las centrales modernas de vapor se diseñan, en general, para generar vapor con altos grados de sobrecalentamiento, pero en muchos procesos industriales y para accionar máquinas auxiliares se requiere vapor saturado, o vapor con presión y temperatura menores que la producida por la caldera.

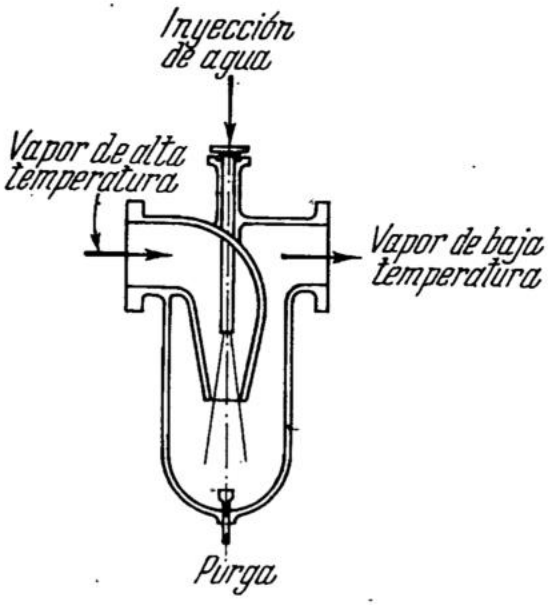


Fig. 46-VII. Desobrecalentador por inyección de agua

La conversión del vapor sobrecalentado en vapor saturado se obtiene inyectándole agua fría pulverizada, empleando para ello los desobrecalentadores, como el indicado en la fig. 46-VII.

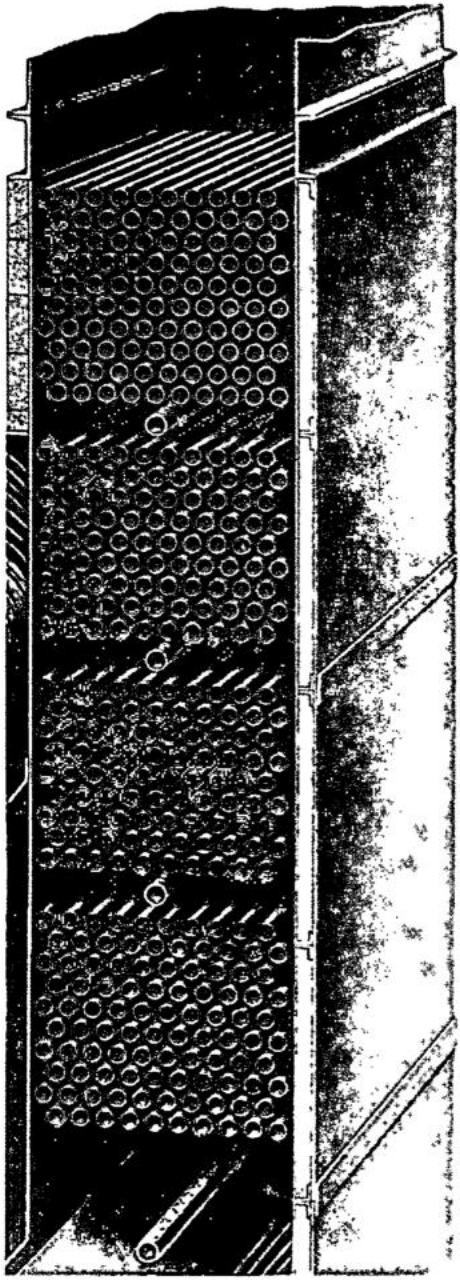


Fig. 47-VII. Calentador de aire "Elesco" tipo marino de tubos horizontales. Se ven además los sopladores de hollín. (Gentileza Combustion Engineering Co.).

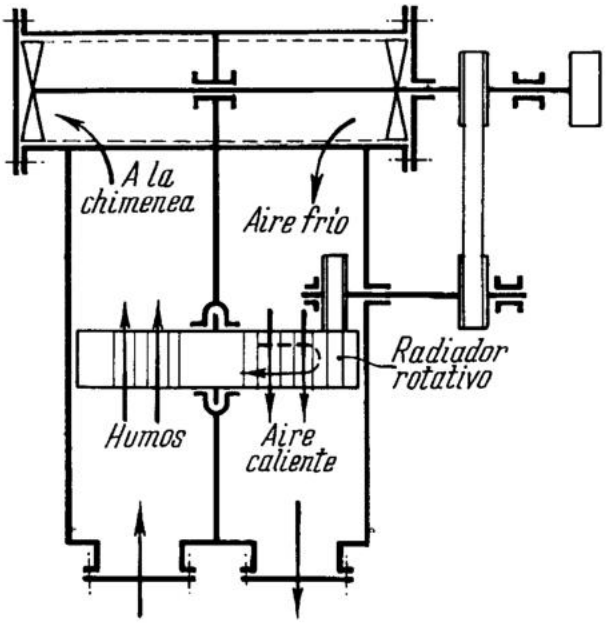


Fig. 48-VII. Esquema de funcionamiento de un calentador de aire regenerativo.

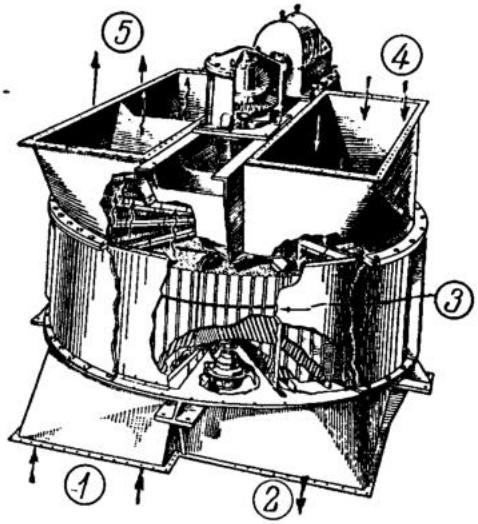


Fig. 49-VII. Calentador de aire Ljungström regenerativo. El corte realizado permite apreciar algunos detalles constructivos del mismo.

16. CALENTADOR DE AIRE[1]

Los calentadores de aire tienen por objeto calentar el aire que se envía al hogar para la combustión, aprovechando parte del calor que contienen los gases antes de llegar a la chimenea. Se instalan en el lugar indicado en la fig. 39-VII. Estos recuperadores de calor pueden construirse en uno de los tres siguientes tipos: de placas, de tubos o regenerativos.

La fig. 47-VII, muestra. un calentador de aire tubular; el aire, impulsado por un ventilador, circula por el interior de los tubos, mientras que los gases pasan por el exterior de los mismos enfriándose.

El calentador de aire Ljungström, del tipo regenerativo, se utiliza mucho en las grandes instalaciones; su principio de funcionamiento puede deducirse observando la fig. 48-VII.

Consta dicho aparato de un tambor giratorio lleno de chapas corrugadas para obtener así gran superficie de intercambio de calor en un volumen reducido; el aire frío es enviado por un ventilador, y debe pasar por un conducto que lo envía sobre aquella parte del tambor que está caliente por haber estado previamente en contacto con los gases que van a la chimenea.

En la fig. 49-VII, puede verse a uno de estos calentadores de aire, y en la fig. 50-VII un detalle constructivo del mismo.

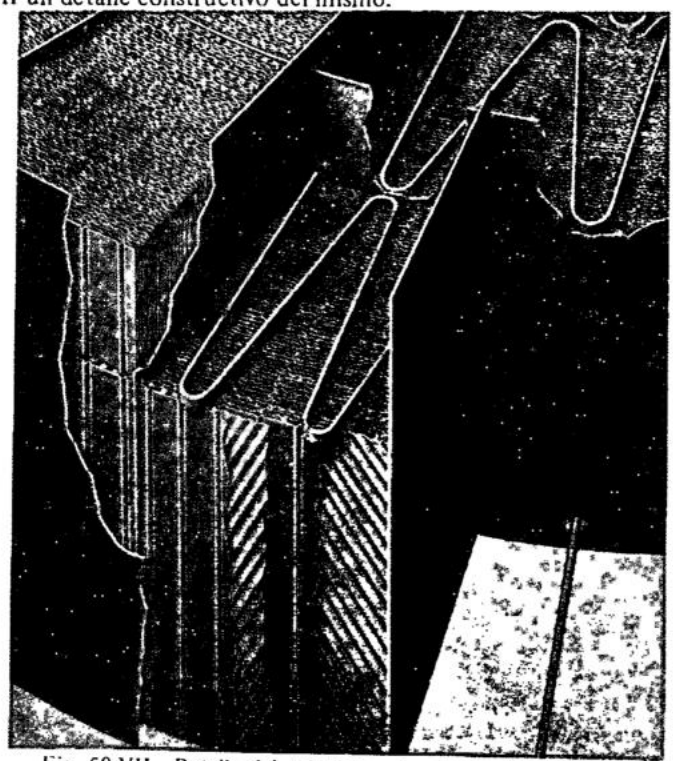


Fig. 50-VII. Detalle del calentador de aire de la fig. 49-VII.

[1] Llamado también precalentador de aire.

CAPITULO VIII

EL AGUA DE ALIMENTACION DE LAS CALDERAS

1. GENERALIDADES

Todas las aguas naturales contienen sustancias que, desde el punto de vista del funcionamiento de las calderas, se consideran como impurezas, pues afectan su rendimiento y algunas veces pueden ser la causa de explosiones que ponen en peligro la vida del personal que está a su cuidado.

En los primeros tiempos de la generación del vapor, cuando las presiones de trabajo eran pequeñas lo mismo que la vaporización horaria, no se prestó mucha atención a la calidad del agua con que se alimentaba a las calderas, permitiéndose la acumulación de incrustaciones y barros que mayormente no ofrecían inconvenientes serios siempre que la caldera fuese purgada y limpiada con cierta frecuencia.

Al proyectar las unidades modernas, de alta presión y de gran vaporización horaria por unidad de superficie de calefacción, que funcionan algunas veces con sobrecargas del órden del 300% y aún el doble de ese valor cuando están provistas de grandes superficies de radiación ubicadas en el hogar, fue necesario tratar el agua de alimentación en forma adecuada para evitar que la formación de incrustaciones y la corrosión pusieran en peligro a la caldera.

Al someter el agua a determinado tratamiento se evita que el vapor sea excesivamente húmedo, como también se reduce el número de limpiezas de la unidad, lo que en las grandes calderas modernas representa elevados gastos.

El problema era más agudo en las calderas marinas alimentadas directamente con el agua de mar cargada de sales, alrededor de 40 g por litro, lo cual obligaba a efectuar frecuentes purgas de la caldera con la consiguiente pérdida de calor; cerca del 12% del que absorbe la caldera.

En consecuencia, las plantas generadoras de vapor deben poseer instalaciones auxiliares, donde se efectúe el acondicionamiento del agua antes de que entre a la caldera, si bien algunos tratamientos se realizan directamente en el interior de esta última.

Aunque una planta de vapor posea estos elementos, el agua de alimentación puede contaminarse por alguno de los motivos siguientes:

a) Por purgas en el condensador de superficie.
b) Por las impurezas que arrastra el vapor que sale de evaporador.
c) Por el petróleo que puede incorporarse al vapor que lo calienta.
d) Por el lubricante que arrastra el vapor al pasar por las bombas.
e) Por los productos de la corrosión en las cañerías y depósitos de almacenado.

Además de las impurezas citadas, el aire que penetra en la caldera es motivo de serias perturbaciones pues constituye una de las causas principales de la corrosión de las chapas y tubos de acero.

El aire penetra a través de las uniones defectuosas del condensador y por todas aquellas partes en cuyo interior reina menor presión que la atmosférica.

2. LA CORROSION

Algunas sales resultan perjudiciales aun cuando su presencia en el agua de la caldera sea muy pequeña. Entre ellas se encuentra el cloruro de magnesio, el sulfato de magnesio, el nitrato de magnesio y el cloruro de calcio; todas sales inestables en las condiciones reinantes en las calderas y que, al descomponerse, producen ácidos libres.

El cloruro de magnesio al hidrolizarse, por la acción del calor, produce ácido clorhídrico que ataca al hierro apareciendo cloruro de hierro que se descompone regenerándose en ácido clorhídrico, iniciándose otra vez el ciclo de corrosión. Lo mismo ocurre con el nitrato de magnesio; en este caso aparece hidróxido de hierro y ácido nítrico.

En cambio, el sulfato de magnesio reacciona con el cloruro de sodio produciendo cloruro de magnesio que actúa como se indicó anteriormente.

El anhídrico carbónico disuelto en el agua, también es de acción corrosiva.

Según las experiencias de Ritcher, los barros que se acumulan en las calderas originan también corrosiones debido al anhídrico carbónico que aprisionan. En este caso el fenómeno se produce más rápidamente que si el gas se encuentra circulando en la caldera.

3. COMO EVITAR LA CORROSION

La corrosión en las calderas se evita utilizando los métodos que se detallan y describen a continuación. Según el caso, podrá emplearse uno o varios a la vez, ello dependerá del agua utilizada y de las condiciones de funcionamiento de la planta generadora de vapor. La corrosión puede evitarse:

1) Desgasificando el agua:
   a) por vía química,
   b) por vía mecánica.
2) Por prevención eléctrica.
3) Por el empleo de inhibidores.

4. DESGASIFICACION POR VIA QUIMICA

Para ello se utilizan sustancias fácilmente oxidables que privan al agua de su oxígeno libre. En las plantas fijas se utiliza comúnmente el hierro en forma de virutas o pajuelas para que la superficie de contacto con el agua sea grande. Conviene utilizar un hierro que se oxide con facilidad, como es el que contiene menos de 1% de manganeso. El carbono grafítico reduce la actividad del hierro.

Al ponerse el agua en contacto con el hierro su oxígeno libre se oxida produciéndose hidrato férrico insoluble. En los aparatos desgasificadores, que utilizan este principio, entre los que puede citarse al Kestner, todo está dispuesto de modo que el agua al atravesarlo oxida sólo una parte del hierro mientras que la otra es regenerada. Al invertir el sentido de la corriente líquida se oxida la parte de hierro que anteriormente se regeneraba y, en cambio, sucede el fenómeno contrario en la otra fracción del hierro.

Para que el hidróxido ferroso no pase a la caldera, el aparato posee filtros adecuados que detienen a esta sustancia. Con este sistema se puede obtener agua cuyo contenido de oxígeno no sea mayor de 0,5 cm^3 por litro.

5. DESGASIFICACION POR VIA MECANICA

La cantidad de oxígeno o de anhídrico carbónico que disuelve el agua, disminuye al aumentar su temperatura y al decrecer la presión a que se la somete.

Además, cuanto mayor es la superficie que ofrece un cierto volumen de agua y cuanto más grandes son las burbujas de gases, más rápidamente se produce la desgasificación. Es por ese motivo que en algunos desgasificadores se agita el agua para que se reúnan las pequeñas burbujas para formar otras de mayor volumen.

En la desgasificación se observan las etapas siguientes:

a) El gas pasa del seno del líquido a la superficie.

b) El gas atraviesa la superficie del líquido.

c) El gas debe eliminarse del espacio que existe sobre el líquido para que no cree una presión parcial y vuelva a disolverse.

Al subdividirse el agua en pequeñas gotas se facilita su desgasificación pues aumenta la superficie de un volumen dado de aquella, y porque el espacio que debe recorrer el gas es más pequeño.

Los desgasificadores pueden clasificarse en:

a) tipo de bandeja,

b) tipo de atomización.

6. DESGASIFICADOR ELLIOT

Este aparato pertenece al tipo de bandeja y está representado en la fig. 1-VIII, en la cual puede apreciarse su funcionamiento. El vapor de escape de las máquinas primarias o auxiliares barre la superficie del agua que llega al separador a la misma temperatura que la de aquél, arrastrando los gases que se

separan del agua. Luego el vapor pasa al cuerpo superior donde cede su calor al agua que penetra al aparato; esta última, ha pasado previamente por un condensador enfriando el aire que escapa y condensando el vapor que puede llegar hasta allí.

Existe, además, un pequeño eyector auxiliar de vapor para completar el calentamiento del agua que proviene del cuerpo superior hasta hacerla igual a la del vapor utilizado.

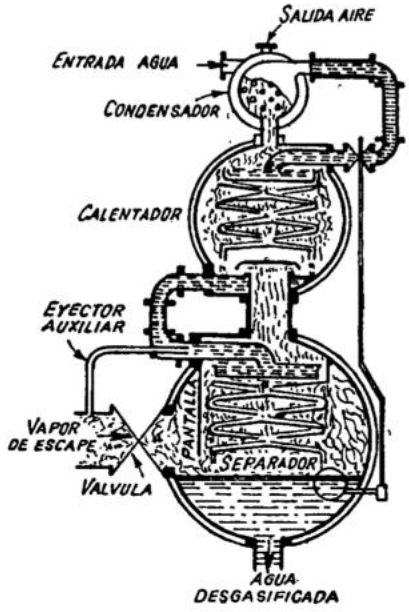


Fig. 1-VIII. Desgasificador Elliot Tipo M.

7. DESGASIFICADOR WEIR

En el desgasificador Weir indicado en la figura 2-VIII, que pertenece al tipo de atomización, el agua llega por el caño *S* y se subdivide en una fina lluvia al pasar por los pulverizadores *F*.

Por la válvula *P* llega el vapor que al atravesar la placa perforada *X* burbujea en el agua poniéndola en ebullición. El vapor que así se origina, pasa a la cámara *A* a través de las lumbreras *K*; y se encuentra con la lluvia de agua a la que calienta, motivo por el cual esta última abandona los gases que lleva en disolución. Este fenómeno está facilitado por existir en la cámara una presión muy baja.

El agua desgasificada pasa por *H* a la cámara *J* en donde al hervir cede las últimas partes de gas que contiene. La bomba *C* aspira el agua del aparato.

8. PREVENCION ELECTRICA DE LA CORROSION

La teoría electroquímica enseña que la corrosión se debe a la formación de pequeñas pilas en las cuales la chapa de la caldera es el polo negativo y la solución el polo positivo. Para combatir estos efectos eléctricos bastará crear otra pila cuyo cátodo sea la chapa de la caldera. Esto se consigue introduciendo en aquélla un trozo de metal anódico y haciendo circular una pequeña corriente. El agua de la caldera sigue actuando como electrolito y el metal anódico es el que se disuelve.

También puede instalarse, en la caldera, una chapa de cinc, que fue por otra parte el primer método utilizado para combatir la corrosión, especialmente en la marina. En este caso, como el agua de mar contiene cloruro de sodio se origina, como ya se vio, ácido clorhídrico, y el cinc de la pila cinc-hierro es atacado con preferencia al hierro, el ácido se neutraliza y se evita el ataque de la chapa.

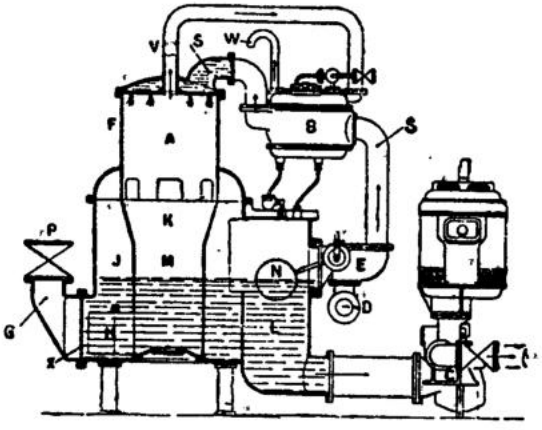


Fig. 2-VIII. Desgasificador Weir.

En las instalaciones modernas no se puede contar sobre la acción dudosa del cinc para evitar la corrosión, y se prefiere casi universalmente mantener la alcalinidad del agua dentro de los límites prescriptos.

9. EMPLEO DE INHIBIDORES

Los inhibidores son sustancias que agregadas al agua de la caldera evitan la oxidación de sus chapas. Entre los inhibidores se citan las siguientes sales de sodio: los cromatos, carbonatos, silicatos y arseniatos. Algunas de éstas originan sales de hierro insolubles que se adhieren a la chapa protegiéndolas. Otras producen, sobre las regiones catódicas de las chapas, depósitos de una sustancia porosa no conductora e insoluble que evita la difusión del oxígeno hacia la chapa. Otros inhibidores son agentes oxidantes que también forman una capa protectora sobre las chapas.

Los inhibidores deben utilizarse y regularse con mucho cuidado para evitar la aparición de corrosiones localizadas.

10. FORMACION DE INCRUSTACIONES

Las incrustaciones se deben a la precipitación de ciertas sales disueltas en el agua, cuando la concentración de las mismas, debido a la evaporación resulta mayor que su solubilidad. Las sales contenidas en el agua de alimentación de las calderas pueden subdividirse en dos grandes grupos:

1) las muy solubles, y
2) las relativamente poco solubles.

Las sales muy solubles raramente forman incrustaciones y sólo se encuentran trazas de ellas en las incrustaciones de las calderas; entre estas sales cabe citar a los cloruros y sulfatos de sodio y magnesio y a algunos silicatos.

Las sales poco solubles pueden subdividirse, aún en aquellas:

a) cuya solubilidad aumenta con la temperatura, y

b) aquellas cuya solubilidad disminuye con la temperatura.

Las primeras se depositarán difícilmente en las superficies muy calientes de la caldera, encontrándose entre ellas el carbonato y el fosfato de calcio. En cambio se depositan en las superficies relativamente frías.

Las que forman mayor cantidad de incrustaciones son las segundas, especialmente en las partes más calientes de la caldera y con preferencia en los tubos; el sulfato de calcio es una de esas sales.

Los carbonatos forman incrustaciones blandas y porosas y provienen de la descomposición de los bicarbonatos presentes en el agua.

En cambio los sulfatos producen incrustaciones duras y adherentes muy difíciles de eliminar.

La presencia de las incrustaciones en las calderas originan los siguientes inconvenientes.

1) Aumenta el espesor de la pared a través de la cual debe pasar el calor, y como su conductibilidad es 20 veces menor que la del acero, se comprende que el paso del calor sea más dificultoso a medida que crece su espesor, reduciéndose la capacidad de la caldera y el rendimiento de la misma.

2) Como consecuencia de la dificultad que experimenta el calor para atravesar los tubos o las chapas, o siendo defectuoso su enfriamiento por la parte interna, el metal se recalienta y debilita con el consiguiente peligro.

En las calderas modernas como el calor que pasa por metro cuadrado de superficie de calefacción y por hora es muy grande, el espesor de la incrustación no puede ser excesivo para que no aparezcan los inconvenientes señalados en 2).

Por ejemplo, para presiones de 25 kg/cm^2 y admitiendo que la temperatura continua de seguridad es de 480° C, puede aumentarse la temperatura de los tubos si éstos son de acero y de bajo contenido de carbono, en unos 240° C.

La formación de las incrustaciones puede evitarse utilizando los métodos siguientes:

1) Tratamiento con hidrato de calcio y carbonato de sodio.
2) Tratamiento a base de zeolitas.
3) Tratamiento a base de bario.
4) Tratamiento a base de fosfatos.
5) Tratamiento a base de soda cáustica.
6) Tratamiento a base de coloides.

11. DUREZA DEL AGUA

Como se vio anteriormente, entre las sales capaces de formar incrustaciones que puede contener un agua se encuentran los bicarbonatos y sulfatos de calcio y magnesio.

Se entiende por dureza total del agua a la cantidad de calcio y magnesio disueltas en ella.

La dureza permanente representa a las sales de calcio y magnesio que subsisten en solución, después de una ebullición prolongada del agua.

Las sales que han precipitado durante la ebullición constituyen la dureza temporaria o transitoria del agua, que se obtiene por diferencia entre las dos durezas anteriores.

Cuando el agua sometida a tratamiento adecuado pierde parte de estas sales se dice que ha sido ablandada.

Para medir la dureza del agua se emplea como unidad el grado de dureza o grado hidrotimétrico.

El grado francés corresponde a una parte de carbonato de calcio en 100.000 partes de agua. En Estados Unidos de Norteamérica se expresa la dureza en partes por millón (p. p. m.) que se reduce a grados franceses dividiendo por diez.

El grado inglés corresponde a una parte de carbonato de calcio en 70.000 partes de agua.

El grado alemán corresponde a una parte de óxido de calcio en 100.000 partes de agua. Entre estos distintos grados existen las relaciones siguientes:

1° inglés	=	1°,43 francés	=	0°,80 alemán
1° francés	=	0°,56 alemán	=	0°,70 inglés
1° alemán	=	1°,25 inglés	=	1°,79 francés

La dureza total se determina agregando al agua que se ensaya, contenida en un frasco hidrométrico, suficiente cantidad de una solución alcohólica de jabón, hasta que se forma sobre la superficie después de agitado, una espuma que ocupe un espesor de medio centímetro y persista por lo menos durante 5 minutos.

El número de divisiones de la bureta da directamente la dureza en grados franceses. Repitiendo el ensayo sobre el agua hervida y filtrada se determina la dureza permanente.

12. FORMACION DE ESPUMA Y ARRASTRE DE AGUA

La espuma se debe a la formación de una capa de burbuja de vapor sobre la superficie del agua. Si esta capa llena todo el espacio destinado al vapor se produce el arrastre de agua a la cañería principal de conducción del vapor. Esto tiene efecto pernicioso sobre el rendimiento de la caldera puesto que el agua que pasa a la cañería no produce trabajo, habiéndose gastado calor para calentarla. Las sales que arrastra aquélla se depositan sobre las paredes de los caños, válvulas, cilindros, etc. Además, el agua que llega al cilindro disminuye las propiedades del lubricante.

Estas burbujas se deben a la presencia en el agua de ciertos cuerpos que actúan como estabilizadores de la película que envuelve a la burbuja de vapor.

El tema de la formación de la espuma en las calderas ha sido estudiado con cierta extensión en los últimos años especialmente, en los laboratorios, con modelos de vidrio. Aún cuando no exista una teoría definitivamente aceptada, es dable admitir que la formación de espuma se debe a la presencia de aceites y

grasas que contienen productos saponificables o a la concentración elevada de sales solubles y/o materias sólidas en suspenisón.

También tiene influencia sobre la formación de espuma, la presión de trabajo, la carga de la caldera, su diseño, etc.

Si el agua no contiene sustancias en suspensión, a medida que crece la carga de la caldera, más pequeño debe ser su contenido de sólidos disueltos, para que no aparezca espuma. En las plantas industriales modernas la concentración máxima de sustancias disueltas es de 2.000 a 5.000 ppm. En las centrales es de 500 a 1.000 ppm.

El arrastre del agua, provocado por la presencia de excesiva espuma, puede evitarse en parte proyectando la unidad de manera que el nivel del agua se mantenga lo más bajo posible compatible con la seguridad de la caldera. Debe tenerse cuidado de no abrir bruscamente las válvulas de vapor de gran tamaño, pues, la súbita salida de vapor de la caldera es una de las causas del arrastre de agua.

La formación de espuma puede combatirse también agregando ciertos productos químicos que actúan disminuyendo la tensión superficial; Hall cita entre ellos a los ácidos gálicos y tánicos y sus compuestos, al aceite de ricino, a los ácidos tartáricos, cítricos y sus compuestos, el colesterol y el alcohol monohídrico.

También algunos cuerpos que no se disuelven en el agua tendrían una acción eficiente en ese sentido, encontrándose entre ellos los hidrocarburos no saturados.

13. ACEITE

La presencia del aceite en la caldera, aun en pequeñas cantidades, contribuye al arrastre de agua por el vapor. En general, los tratamientos internos para combatir la acción del aceite, que penetra en la caldera, no tienen éxito. Los coagulantes tales como el aluminato de sodio y ciertos coloides producen la arrastre de pequeñas cantidades de aceites y grasas al colector de agua.

Una de las soluciones, en aquellas plantas donde las máquinas que mueven los auxiliares son causa de la contaminación del condensador, es reducir al mínimo la lubricación por medio de aceites reemplazando a estos por lubricantes a base de grafito, en las bombas de alimentación de velocidad reducida. Además debe proveerse a la instalación de filtros adecuados.

CAPITULO IX

MANEJO Y CUIDADO DE LAS CALDERAS

1. GENERALIDADES

El objetivo principal que debe perseguirse al conducir una caldera es la *seguridad*, pues se trata de un elemento sometido a presiones y a temperaturas relativamente grandes cuya explosión es de consecuencias graves para el personal a su cargo y para los edificios en los cuales está instalada. Por eso, todo foguista debe seguir exactamente las directivas existentes sobre el manejo de las calderas a su cargo, y entender que ellas no son la consecuencia de ningún capricho, sino reglas que derivan de la experiencia y que al respetarlas está poniendo a resguardo su propia persona.

Por otra parte, la conducción correcta de una caldera permite aumentar el número de años durante los cuales funciona eficientemente; lo que en muchas instalaciones donde se pagan primas o premios sobre la economía de combustible significa para el foguista una mayor remuneración.

2. PUESTA EN CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO DE UNA CALDERA NUEVA

Cuando se adquiere una caldera nueva, las superficies internas de la misma están generalmente sucias de aceite o de grasa, o recubiertas con sustancias protectoras aplicadas durante su fabricación o su estacionamiento. Estas capas de aceite deben eliminarse, pues son malas conductoras del calor, y su presencia puede ocasionar recalentamiento del lugar donde están depositadas.

La existencia de aceite en la caldera, aún en pequeñas cantidades, contribuye al arrastre de agua por el vapor.

Existen diversos procedimientos para limpiar las calderas nuevas y ponerlas en condiciones de funcionamiento. A continuación se describe el método de limpieza a base de carbonato de sodio y soda cáustica.

3. METODO DE LIMPIEZA DE UNA CALDERA NUEVA UTILIZANDO CARBONATO DE SODIO Y SODA CAUSTICA

1) Si existe mica en los tubos niveles, reemplazarlos por otros que no tengan esta sustancia, pues la soda cáustica la ataca.
2) Tratar de eliminar todo el aceite posible utilizando trapos limpios.
3) Llenar la caldera con agua caliente hasta un punto un poco por debajo de la entrada de hombre del domo superior.
4) Disuélvanse 3 kg de carbonato de sodio y 3 kg de soda cáustica por cada 1.000 kg de agua (1.000 l) contenidos en la caldera. Si la caldera tiene varios domos superiores, dividir la solución entre los distintos colectores.
5) Ciérrese la entrada de hombre utilizando empaquetaduras de amianto
6) Agréguese agua a la caldera hasta su nivel normal de funcionamiento, cuidando que no pase agua al sobrecalentador.
7) Abrase la válvula de la ventilación del domo superior y drénese al sobrecalentador.
8) Ciérrese toda abertura de acceso y de inspección.
9) Verifíquense los elementos de combustión y de alimentación, los niveles, manómetros, válvulas, etc.
10) Si existe un economizador, tómense las precauciones necesarias para que en él no se produzca vapor.
11) Préndase el fuego y regúleselo para que la producción de vapor sea lenta.
12) Cuando salga vapor por la válvula de ventilación o la válvula de seguridad (que se habrá mantenido abierta), esto indicará que en la caldera reina cierta presión, entonces ciérrese la válvula de ventilación o la de seguridad según el caso. Ciérrese también la purga de la entrada del sobrecalentador, pero déjese la purga o la ventilación de salida abiertas.
13) Hágase subir la presión de la caldera a razón de no más de 6 a 7 kg/cm^2 por hora. Se recomienda aumentar la presión hasta que sea igual a la mitad de la normal de funcionamiento. Si bien otros recomiendan alcanzar la presión de funcionamiento si ésta es menor de 20 kg/cm^2, nunca aquella presión deberá ser sobrepasada.
14) Manténgase a la caldera produciendo vapor durante varias horas. Durante el tiempo que requiera alcanzar la presión antes fijada y durante el período de vaporización, manténgase el nivel del agua por encima del fondo del tubo de nivel.
15) Agréguese agua a la caldera lentamente hasta que el tubo de nivel se llene. Púrguese la caldera con la purga de superficie, si esta existe, hasta que el agua llegue a ese nivel. Luego desde ese punto púrguese la caldera con la purga de fondo hasta que el nivel del agua se halle a 5 ó 7 cm por encima del fondo del tubo de nivel. Manténgase limpia la concentración de la solución durante la purga.

16) Hágase disminuir la presión lentamente hasta que valga 1,5 a 3 kg/cm^2.

17) Vuélvase a repetir el ciclo de crecimiento de la presión, purga y disminución de la presión. Opérense las purgas de las paredes de tubos del hogar y del colector interior alternativamente. Si existe una purga de superficie, hágase funcionar primero, a esta en cada serie de operaciones para eliminar la espuma o los barros de la superficie del agua.

18) Opérese así durante 36 a 72 h, o hasta que en las muestras de agua obtenidas de distintos puntos de la caldera no existan trazas de aceite.

19) Retírese el fuego o apágueselo según el caso y déjese enfriar lentamente.

20) Cuando la unidad esté fría, ábranse todas las ventilaciones y purgas.

21) Inspecciónese los domos y cabezales. Límpiese todo depósito de aceite, barros o espuma. Finalmente lávese con una manguera de alta presión.

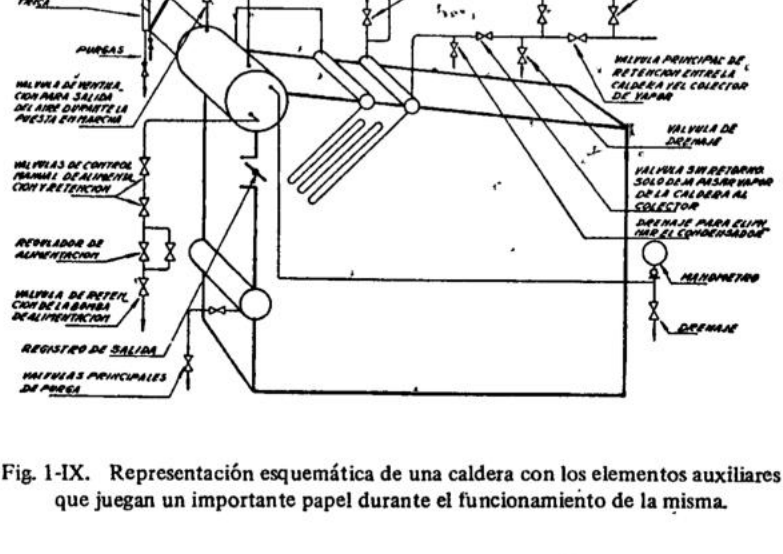


Fig. 1-IX. Representación esquemática de una caldera con los elementos auxiliares que juegan un importante papel durante el funcionamiento de la misma.

22) Inspecciónense las superficies de calefacción, los conductos de humo, la tolva de hollín, el calentador de aire y la chimenea para observar los depósitos de hollín.

24) Reemplácese el tubo de nivel, si fué necesario sacarlo al principio de la operación por tener protecciones de mica.

4. FRECUENCIA DE LA LIMPIEZA INTERIOR DE UNA CALDERA

La frecuencia con que deben limpiarse las calderas depende de muchos factores y entre ellos puede citarse a los siguientes:.

a) El tipo de caldera.

b) La calidad del agua.

c) El tratamiento a que se somete a esta última.

d) De la forma como se maneja la caldera.

En una instalación conviene que el tiempo que media entre dos limpiezas sea lo más grande posible, pues así se interrumpe con menos frecuencia el trabajo de la industria a la que sirve la caldera, y el costo de mantenimiento de esta última es más barato.

En las grandes instalaciones donde hay calderas de gran producción horaria, tal como la indicada en la fig. *A* y *B*-VI, apagar una caldera resulta oneroso, ya que al enfriarse la mampostería siempre se producen desperfectos debidos a las contracciones que experimenta el material.

Además, el calor perdido durante el enfriamiento y el calentamiento de la unidad es también grande.

Como regla general puede aceptarse que la frecuencia de las limpiezas tiene que ser tal que no permita que los depósitos que forman las impurezas contenidas en el agua lleguen a constituir una capa dura, adherida al metal de la caldera y difícil luego de eliminar.

A pesar de las purgas realizadas en la forma que se indica en la fig. 2-IX, se formarán en la caldera incrustaciones y depósitos de barros que no pueden eliminarse con las extracciones, siendo, entonces, necesario realizar su limpieza interior.

Antes de entrar en la caldera, después que ésta ha sido vaciada, deberá comprobarse que toda comunicación con otra caldera se encuentra bien cerrada. No hay que fiarse en el cierre de las válvulas, debiendo colocar en ellas bridas ciegas u otros cierres apropiados.

Conviene colocar un cartel bien visible que indique que se está limpiando la caldera, para evitar todo daño, desde afuera, a los operarios encargados de la limpieza que se encuentran en el interior de la caldera.

El operario se introducirá en la caldera recién cuando se tenga la sensación de que el aire ha circulado suficiente tiempo por ella.

Hay que cuidar que exista buena ventilación mientras el obrero está trabajando en la caldera, lo que puede conseguirse con un ventilador que envíe aire por alguna abertura inferior de limpieza, aire que saldrá por algún orificio superior o por la entrada de hombre.

Cuando no se disponga de ventilador puede emplearse a la chimenea como elemento de tiro conectándola con un caño a algún orificio de limpieza.

Para eliminar las incrustaciones el operario empleará los aparatos especiales indicados en el Capítulo VII. Debe evitarse el empleo de martillos. Una vez concluído el rasqueteado de la caldera ésta debe lavarse con abundante agua.

La limpieza exterior de la caldera se realiza con los sopladores de hollín antes de apagarla, o sino una vez fría con cepillos apropiados. Los tubos de humo se limpian con los cepillos indicados en la fig. 35-VII.

5. CONSERVACION DE LAS CALDERAS PARA UN LARGO PERIODO DE INACTIVIDAD

Cuando las calderas no han de funcionar durante un largo período, deben prepararse de modo que no sufran deterioro y se encuentren en buen estado cuando sea necesario ponerlas nuevamente en funcionamiento.

A tal efecto, la caldera se limpia perfectamente tanto en su interior como en su exterior, eliminándose todos los depósitos de incrustaciones, barros, cenizas, hollín, etc.

Se verificarán también las roblonaduras y las juntas de los tubos para comprobar que no hay pérdidas, reparándose todo desperfecto.

Luego es necesario tratar las superficies internas y externas para que no se corroan.

Si la caldera ha de permanecer fuera de servicio durante menos de 3 meses, se la llenará completamente de agua, disolviendo en ella 1 kg de carbonato de sodio por cada m^3 de capacidad de la misma.

Manténgase luego un fuego lento, hasta que comience a producirse vapor para eliminar así el aire contenido en el agua. A continuación se apaga o retira el fuego y se llena completamente la caldera.

Si el período de parada ha de ser mayor de 3 meses se llenará la caldera, luego se la vaciará, limpiará y secará perfectamente para poder recubrir sus superficies exteriores e interiores con una capa de aceite mineral crudo. Puede usarse también aceite crudo para recubrir las superficies interiores y aceite de linaza cocido para las superficies exteriores. Este aceite forma una capa mucho más duradera que el aceite crudo.

Como alternativa, puede pintarse la superficie exterior con minio o alquitrán.

Aquellas partes exteriores que no pueden alcanzarse para pintarse podrán recubrirse con una capa protectora que se obtiene al quemar alquitrán debajo de ellas.

El recubrimiento interior de aceite crudo se logra llenando la caldera con agua, a la que se le agrega alrededor de unos 40 l de aceite. Al abrirse la purga, a medida que el agua desciende, el aceite que flota se va adhiriendo a la superficie.

Antes de poner en servicio a una caldera así preparada, deberá sometérsela al tratamiento de limpieza indicado en el apartado 2 de este capítulo.

En la chimenea deberá colocarse un sombrerete para que no caiga agua en su interior durante el período de inactividad de la caldera.

6. COMO SE PURGAN LAS CALDERAS

En una caldera existe la vaporización continua de agua y el agregado de cierta cantidad de agua de reposición, en el caso que se trabaja con circuito cerrado, o el suministro continuo de agua nueva de alimentación cuando la instalación es de circuito abierto. Esto produce inevitablemente el aumento de la concentración de los sólidos en suspensión y, en consecuencia, es necesario eliminarlos periódicamente, o continuamente, para evitar que la concentración alcance valores inconvenientes para el funcionamiento correcto de la unidad.

Para evitar el aumento de la concentración se permite la salida de agua de la caldera, operación que recibe el nombre de purga.

Si bien la purga tiene la virtud de disminuir la formación de incrustaciones, por otro lado tiene el inconveniente de ocasionar la pérdida de cierta cantidad de calor, igual precisamente al calor que contiene el agua que abandona la caldera.

El momento oportuno para realizar la purga de los sedimentos y de la espuma, es cuando el agua de la caldera está quieta. Esto ocurre en aquellos momentos en que la caldera no suministra vapor, o cuando ha permanecido, por ejemplo, toda la noche sin funcionar. Entonces, los sedimentos y las sustancias que forman espuma han tenido tiempo de acumularse siendo fácilmente arrastrados por la corriente que se establece en el interior de la caldera cuando se abre la purga.

La purga debe realizarse después de 20 a 30 minutos de prendido el fuego, cuando el agua comienza a circular debido al efecto de las corrientes convectivas, y en esa forma, el barro se ha separado de las chapas. Si se realiza la extracción antes del calentamiento se elimina únicamente el barro que existe alrededor del orificio de purga.

Durante esta operación el foguista debe prestar mucha atención en el nivel de agua para que este no baje excesivamente. Para evitar inconvenientes, se recomienda que el día anterior, antes de apagar la caldera, se la alimente hasta que su nivel de agua se halle varios centímetros por encima del nivel normal.

El instante en que debe cesar la purga es aquel en que el aspecto del agua que sale de la caldera deja de ser fangoso o turbio.

Cuando la caldera funciona en forma continuada el momento elegido para la purga conviene que coincida con aquél durante el cual la producción de vapor es pequeña.

Al realizar la purga deben tomarse algunas precauciones de seguridad:

1) Cuando el foguista purga la caldera, en general no puede ver el nivel de agua, que deberá ser observado por otro operador, que será el encargado de dar la señal de terminación de la misma.
2) Abranse y ciérrense la válvulas y grifos de purga cuidadosamente y en forma lenta.
3) Asegúrese que las calderas vacías, del mismo circuito, están perfectamente aisladas de la que se va a purgar, antes de realizar la operación.

En instalaciones de presión moderada, cuando existe una válvula de apertura rápida y una válvula exterior o de purga, figs. 1 y 2-IX, el procedimiento a seguir para realizar la purga es el siguiente:

1) Abrase primero la válvula de apertura rápida y luego la válvula exterior.
2) Ciérrese primero la válvula exterior y a continuación la otra.

Cuando es necesario realizar una purga prolongada:

1) Abrase la válvula de apertura rápida hasta aproximadamente la

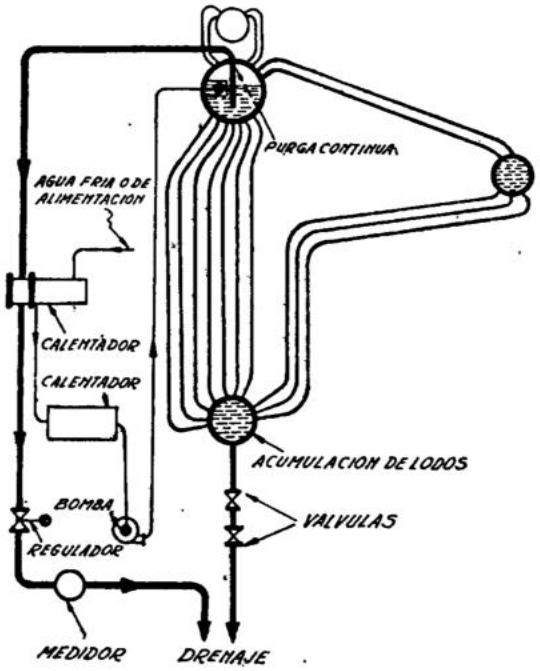


Fig. 2-IV. Caldera con un sistema de purga continua.

mitad, y déjesela en esa posición hasta que el nivel de agua, en el tubo de nivel, haya descendido alrededor de 3 cm.

2) Luego ábrase completamente la válvula hasta completar la purga.

El orden de apertura y cierre indicado anteriormente está basado en el hecho de que procediendo así solamente se desgasta la válvula exterior y que en caso de emergencia, esta válvula puede ser reemplazada sin necesidad de apagar la caldera.

7. PUESTA EN MARCHA DE UNA CALDERA DESPUES DE SU LIMPIEZA

Después que una caldera ha sido sometida a una de las limpiezas periódicas necesarias para su buen funcionamiento y conservación, se recomienda seguir las reglas siguientes cuando se la ha de poner en presión.

1) Antes de cerrar la caldera asegúrese que en el interior de la misma no ha quedado ninguna herramienta.
2) Verifíquese las condiciones de funcionamiento de aquellos elemenque sirven para la combustión y para la alimentación.
3) Una vez cerrada la caldera, ciérrese su válvula de purga como así

también las de la columna hidrométrica de los tubos de niveles y del manómetro.

4) Abrase la válvula de ventilación; en caso de no existir ésta válvula manténgase abierta a una de las válvulas de seguridad.

5) Abranse las válvulas de purga de la columna hidrométrica y del manómetro.

6) Llénese la caldera y el economizador con agua de alimentación. Para calderas cuyo espesor de domo es de 100 mm o más, los constructores recomiendan mantener la temperatura del agua entre 25 y 30° C más elevada que la del metal.

7) Para el llenado de la caldera utilícese la línea auxiliar de alimentación y hágase llegar el nivel del agua hasta unos 2 o 3 cm más arriba del fondo del tubo de nivel. Alimentese lentamente.

8) Púrguense los niveles, asegurándose que el agua vuelve rápidamente a su nivel. Márquese el nivel del agua atando un hilo alrededor del tubo de nivel.

9) Déjese la caldera en reposo durante un tiempo prudencial. Si el nivel del agua ha bajado, deberá revisarse cuidadosamente la válvula de descarga, las juntas de los accesorios, de la entrada de hombre y de las aberturas para limpieza. Penétrese en los conductos de humo para realizar una inspección cuidadosa con el fin de localizar las pérdidas de agua.

10) Si el economizador está provisto de un circuito de recirculación de agua o de mezcla del agua de alimentación con agua caliente o posee registros para derivar los gases se recomienda seguir la siguiente regla. Manténgase abierta la válvula de recirculación hasta que la unidad se encuentre llena y haya pasado agua por ella durante aproximadamente 5 minutos. Si existe la posibilidad de formación de vapor en este aparato, durante el período en que se "levanta presión", ábrase su válvula de ventilación para que así se elimine el vapor acumulado antes de iniciar la alimentación de la caldera.

11) Salvo casos especiales, todas las purgas del sobrecalentador deben estar abiertas. Cuando la regulación del sobrecalentamiento se obtiene mediante registros, o cuando el sobrecalentador no puede purgarse totalmente, ciérrense los registros excepto cuando la derivación del gas se encuentra por encima del área donde pueden formarse acumulaciones de agua.

12) Para prender la caldera deben respetarse las directivas del fabricante. En unidades donde se quema combustible en suspensión (carbón pulverizado, gas, etcétera), ábranse todos los registros y hágase funcionar los ventiladores del tiro artificial (si existe) para que circule aire durante cierto tiempo.

Préndase *cada quemador* con una antorcha o con un equipo apropiado; *no trate nunca de prender un quemador utilizando otro quemador*. Para prender los hogares que queman carbón sobre parrillas, véase apéndice 8 de este capítulo.

13) Cuando el agua se calienta aumenta su volumen, de modo que si su nivel no se eleva en el tubo de nivel es porque existe alguna fuga en la caldera.

14) La combustión debe regularse para que la caldera se caliente lentamente. Cada fabricante aconseja cuál debe ser el número mínimo de horas para llevar la caldera a sus condiciones normales de funcionamiento, partiendo del estado frío. Si la caldera se calienta muy rápidamente se producen tensiones por calentamiento desigual que ocasionan la destrucción del material refractario pudiendo originar también fugas o deformaciones en la caldera misma. El tiempo mínimo de calentamiento varía según la presión de trabajo. Las calderas con tubos de fuego requieren mucho más tiempo que las acuotubulares. Para acelerar la circulación en las calderas de tubo de fuego conviene utilizar un inyector.

16) Durante el período de calentamiento manténgase el nivel del agua por encima del fondo del tubo de nivel.

16) Cuando salga vapor por la válvula de ventilación o por la de seguridad, que aún se mantiene abierta, verifíquese las conexiones del manómetro. Abrase la purga del tubo de nivel. Cuando el agua que sale por allí sea clara ciérrese la purga.

17) Cuando la presión de la caldera sea mayor que la atmosférica, por ejemplo alrededor de 1,5 kg/cm^2 efectivos, ciérrese la válvula de ventilación o la de seguridad según el caso.

Manténgase completamente abierta la purga del cabezal exterior del sobrecalentador hasta conectar la caldera con la línea.

18) Abrase, al comienzo del período de puesta en marcha, la purga que existe entre la válvula sin retorno y la válvula principal de retención, y al mismo tiempo, levántese un poco el vástago de la válvula sin retorno para permitir el calentamiento gradual del caño, que conduce el vapor hasta la válvula de retención principal, mientras crece la presión.

19) Cuando la presión de la caldera alcanza a ser 90% de la presión normal de trabajo, ábrase la válvula principal de retención después de haber igualado la presión de la línea de vapor con la de la caldera, utilizando la derivación que existe alrededor de la válvula principal de retención, fig. 1-IX.

20) Ciérrense todas las purgas del sobrecalentador. Si el sobrecalentador se regula por registros, ábraselos lentamente. Luego ciérrese el registro de derivación (by-pass), hasta que la temperatura del vapor sea la deseada.

21) Las válvulas de seguridad deben hacerse funcionar con frecuencia ya sea mediante la palanca de mano o permitiendo que se eleve la presión hasta el punto de *"soplado"*. En esa forma se evita que se ataquen o se peguen sobre sus asientos.

8. COMO SE PRENDE EL FUEGO EN UN HOGAR CON EMPARRILLADO

1) Abrase el registro de la chimenea y la puerta del cenicero. Cúbrase la parrilla con paja, virutas o con astillas de madera blanda y algunos trozos de leña partida, y préndase el fuego por delante.
2) Una vez encendida la leña tírese algunas paladas de carbón fresco en pedazos no muy grandes.
3) Ciérrese la puerta del hogar. Manténgase abierto el registro del aire de esta puerta mientras el carbón se enciende.
4) A pequeños intervalos cúbrase toda la parrilla con una capa uniforme de carbón partido en trozos menudos.
5) Cuando todo el carbón queme bien, ciérrese el registro de aire de la puerta del hogar.
6) Manténgase el fuego bajo para que la presión suba lentamente, en especial, si la caldera es de grandes dimensiones.
7) Cuando comienza a subir la presión verifíquense los niveles de agua, y si la válvula de seguridad sopla fácilmente hágase funcionar la bomba de alimentación y el inyector.
8) Recuérdese de purgar la caldera según lo indicado más arriba.

El fogonero no deberá echar trozos grandes de carbón en el hogar. Cuando encuentre trozos grandes deberá retirarlos de la pila y romperlos en el piso golpeándolos con un martillo. No debe romperlos tirándolos en la pila contra otros pedazos pues, si bien los pedazos grandes se rompen, también disminuye el tamaño de los trozos pequeños aumentando la cantidad de polvo de carbón, siendo así mayores las pérdidas en el hogar.

9. COMO SE "APAGA" UNA CALDERA

Estas son algunas de las recomendaciones que se aconseja seguir cuando debe *apagarse* o poner fuera de servicio a una caldera.

1) Hágase funcionar los sopladores de hollín cuando aún la caldera está produciendo vapor normalmente.
2) Redúzcase normalmente la carga de la caldera. Disminúyase el fuego y apágueselo de acuerdo con los métodos recomendados en cada caso.
3) Manténgase el regulador de alimentación de agua fuera de servicio, realizándose el "control" a mano.
4) Téngase cuidado que siempre esté el nivel de agua más arriba del fondo del tubo de nivel.
5) Deténganse los ventiladores del tiro artificial después que toda la instalación ha sido bien purgada.
6) Cuando la presión de la caldera cae por debajo de la que existe en la línea principal, la válvula sin retorno se cierra automáticamente, aislando a la caldera del resto de las que se encuentran en servicio. Si no hay otra caldera en servicio, la válvula principal de retención

deberá cerrarse cuando la instalación se ha enfriado suficientemente como para que no se produzca aumento de presión.

7) Abrase la válvula de purga del sobrecalentador cuando la presión esté próxima a la atmosférica. Abrase también la válvula de purga que existe entre la válvula sin retorno y la válvula principal de retención.
8) Ciérrese el mecanismo de mano de la válvula sin retorno.
9) Póngase fuera de servicio al regulador automático del registro de aire y ciérrese el registro de la chimenea para que la caldera se enfríe lentamente.
10) Púrguese los niveles y el regulador de alimentación de agua cuando aún la caldera está en presión.
11) Cuando la presión de la caldera ha caído bien por debajo de la normal de funcionamiento ábrase la válvula de recirculación del economizador, si ésta existe.
12) Ciérrese las purgas del sobrecalentador y todas las demás.
13) Abrase la válvula de ventilación del domo superior cuando la presión de la caldera esté comprendida entre 1 y 1,5 kg/cm^2.
14) Cuando toda la instalación esté fría como para permitir la entrada de una persona en el hogar, vacíese la caldera.
15) Ciérrese con seguros a la válvula principal de la línea de vapor y a las válvulas principales de alimentación.

10 CORROSION INTERNA DE LA CALDERA

La corrosión es una destrucción de las chapas, tubos, roblones, etc., de la caldera producida por las impurezas ácidas contenidas en el agua de alimentación y por el oxígeno del aire disuelto en esa misma agua.

La corrosión puede evitarse, en muchos casos, totalmente y en otros casos en buena parte, tratando el agua de alimentación con sustancias que neutralicen los ácidos. El aire se elimina del agua calentándola en aparatos llamados desgasificadores o desaereadores[1].

También puede evitarse la corrosión introduciendo en la caldera una chapa de cinc bien asegurada a una chapa de aquélla. El cinc es atacado entonces con preferencia, preservándose así el metal de la caldera.

Cuando la corrosión produce el desgaste uniforme de la chapa en una extensión relativamente grande, es difícil localizarla. Sin embargo, una persona avezada puede ubicarla mediante el *ensayo del martillo*.

Si existe duda sobre la intensidad de la corrosión, se practica en el lugar donde se sospecha su existencia, un agujero de 25 mm de diámetro, que permite comprobar el espesor del material con el empleo de un calibre. Luego ese agujero se cierra con un roblón[2].

[1] Véase: M. Mesny, "Generación del vapor", 1975, cap. XIV, Editorial Marymar, Buenos Aires.

[2] Mal llamado *remache*.

Otras incrustaciones adquieren el aspecto de pequeñas cavidades; éstas se encuentran por debajo del nivel normal del agua y algunas veces también por encima. Pueden presentarse en forma aislada o agrupadas en áreas más o menos extensas. En general, estas pequeñas cavidades están recubiertas de una capa de forma esférica que contiene un polvo constituido por hierro y sustancias minerales y orgánicas que se han precipitado.

Si se deja inactiva una caldera conteniendo agua, se corroe tanto la superficie en contacto con el agua como la que no lo está, y, especialmente, la línea correspondiente al nivel del agua.

11. CORROSION EXTERIOR DE LA CALDERA

La corrosión exterior se debe a las fugas de agua que pueden producirse en las costuras roblonadas o en las juntas de los tubos o de los accesos. Si esta agua no se elimina rápidamente, por evaporación, se producen corrosiones con la consiguiente destrucción del metal por oxidación.

En algunos lugares, donde la mampostería está en contacto con la caldera, puede acumularse agua o humedad que difícilmente se evaporan y corroen a las chapas.

El hollín, en contacto con el metal de la caldera, suele ser también la causa de corrosiones. En efecto, el azufre, que contiene el carbón, al quemar produce un gas ácido, que es absorbido por el hollín, de manera que si este hollín llega a humedecerse ya sea por fugas de agua o por condensación de la humedad del aire o del combustible se forma un ácido que corroe a la chapa.

12. FISURAS EN LA MAMPOSTERIA

En la obra de ladrillos, que constituye el hogar, pueden producirse fisuras debido a las deformaciones a que dan lugar los calentamientos y enfriamientos del material, o por los esfuerzos originados por las dilataciones de la caldera.

Si la caldera funciona con tiro natural o aspirado reina en el hogar una presión menor que la exterior, en consecuencia, por las fisuras penetrará aire que se sumará al que entra normalmente, pudiendo llegar a constituir un exceso de aire apreciable que reducirá en forma notoria el rendimiento de la unidad.

Cuando se sospecha que en algún lugar hay una grieta, para comprobar si ésta existe verdaderamente puede acercarse allí una vela encendida o una lámpara de kerosene, si la llama se inclina y es aspirada es que efectivamente hay una fuga.

El foguista puede reparar momentáneamente esa fisura con yeso o con barro.

Cuando la caldera funciona con tiro forzado, como la presión en el interior del hogar es superior a la exterior, si hay grietas escaparán los gases hacia afuera. Si el escape es considerable se pierden muchas calorías y también, como en el caso anterior, disminuye el rendimiento de la instalación.

13. MEDIDAS QUE DEBEN TOMARSE AL BAJAR PELIGROSAMENTE EL NIVEL DEL AGUA

Durante el funcionamiento de la caldera el foguista deberá prestar suma atención al nivel del agua, para evitar que éste descienda más abajo de la señal que existe en el tubo de nivel, o lo que es aun más grave que la caldera se quede sin agua.

Para evitar que el tubo de nivel proporcione indicaciones falsas es necesario realizar su purga periódicamente para eliminar todas las impurezas o barros que se depositan en su unión con la columna hidrométrica o con la caldera, ya que estas sustancias extrañas pueden obturar parcial o totalmente aquella unión haciendo que el nivel de agua en el tubo no sea igual al que existe en la caldera.

Al descender el agua más abajo de la señal que indica el nivel normal de funcionamiento pueden quedar muchas partes de la caldera expuestas, por un lado, al calor de las llamas o de los gases, y del otro lado sin la protección del agua, elevándose la temperatura del metal y disminuyendo en consecuencia su resistencia mecánica.

Si el calentamiento de la chapa llega a ser excesivo, como en el interior de la caldera existe una presión relativamente grande, la chapa puede romperse produciéndose una explosión.

En una caldera del tipo locomotora, si el agua baja tanto que deja al descubierto al cielo del hogar es casi inevitable que éste se rompa, pues el metal rápidamente se pone al rojo disminuyendo apreciablemente su resistencia mecánica hasta un punto peligroso.

En calderas de retorno de humo, semejante a la de la figs. 10-VI y 11-VI, si el nivel del agua baja en forma peligrosa y se está trabajando con fuego muy activo, los tubos que quedan al descubierto, al calentarse excesivamente, se dilatan de tal forma que sus juntas, con las placas tubulares, obtenidas por mandrilado, se rompen, por decir así, y permiten la fuga de vapor.

A medida que el agua desciende se produce este mismo fenómeno con las hileras de tubos que el agua descubre. Debido al calentamiento que experimenta la placa tubular ésta se deforma, pudiendo producirse fugas en las costuras roblonadas.

En general, es muy difícil que una caldera de retorno de humo explote, pues las fugas de vapor, anteriormente señaladas, llaman la atención del foguista, quien puede tomar las medidas que se indican más adelante.

En las calderas acuotubulares ocurre algo parecido; en efecto, a medida que el agua baja aquella parte de los tubos que va quedando sin agua se recalienta y se dilata, destruyéndose el cierre mandrilado en su unión con el cuerpo cilíndrico de la caldera. Como consecuencia de este recalentamiento y del esfuerzo del vapor algunos tubos pueden reventar.

Si a pesar de las precauciones que puede tomar el personal a cargo de una caldera, el nivel del agua llega a bajar peligrosamente, deben tomarse, sin pérdida de tiempo, medidas de seguridad. Lo principal es evitar, dentro de lo posible, el choque térmico que resulta del enfriamiento brusco de una chapa recalentada perteneciente a un recipiente sometido a presión.

Las medidas que se aconseja tomar, en estos casos, son las siguientes:

1) Cuando el nivel del agua ha bajado en tal forma que hace peligroso continuar con el funcionamiento de la caldera, ésta debe *enfriarse* tan rápidamente como lo permita la seguridad de la instalación.
2) Si la bomba o el inyector estaban alimentando la caldera, se los dejará en funcionamiento. En caso contrario no se los hará funcionar.
3) Si la caldera quema petróleo o gas o carbón pulverizado se cerrarán los quemadores con lo que el fuego se apagará casi instantáneamente.
4) Se abrirán todas las puertas o aberturas que permitan el establecimiento de corrientes de aire a través del hogar. Esto acelera el enfriamiento de la unidad.
5) Deberán cerrarse las válvulas de suministro de vapor, pues así se evitan las caídas bruscas de presión producidas por la disminución brusca de la temperatura del agua que se encuentra en los domos y colectores.
6) Una vez que la presión del vapor sea igual a la presión atmosférica, se seguirá enfriando la caldera en la forma normal indicada en el Ap. 7 de este capítulo.
7) Antes de poner nuevamente en servicio la caldera, habrá que inspeccionarla detenidamente y someterla a la prueba hidráulica.
8) En calderas con emparrillado (lecho de combustible) interrúmpase el suministro de combustible y de aire; si es posible sin peligro de explosión, ahóguese el fuego, deténgase el suministro de vapor, y ajústese la alimentación de agua al máximo admisible para mantener el nivel de agua a su valor normal.
9) Apenas haya pasado el peligro de recalentamiento serio (dentro de los 15 minutos después de la rotura del tubo) deténgase la alimentación de agua, y procédase a apagar la caldera como en el caso normal. Inspecciónese y ensáyese la caldera antes de prenderla nuevamente.

14. EXCESIVO NIVEL DE AGUA EN LA CALDERA

El nivel excesivo de agua en la caldera puede ser debido a una regulación insensible a los variaciones de carga muy rápidas, o puede ser causado por la presencia de aceite en la caldera.

El remedio más inmediato es aumentar la frecuencia de las purgas o la cantidad purgada en cada operación.

Si vuelve a repetirse la elevación anormal del nivel en la caldera, deberá investigarse la causa que la produce y corregir las condiciones de funcionamiento, ya sea eliminando el aceite del agua, mejorando el tratamiento de esta última o procurando de perfeccionar el sistema de alimentación instalando reguladores automáticos que se adapten a la forma particular de funcionamiento de la unidad en cuestión.

15. PRECAUCIONES QUE DEBEN TOMARSE AL CONDUCIR UNA CALDERA CON QUEMADOR DE PETROLEO

A) Compruébese que la presión y la temperatura del petróleo son las correctas antes de prender el fuego. Cuando se empleen quemadores que pulverizan el petróleo utilizando vapor debe verificarse si la presión de este último es suficiente.

B) Abranse luego los registros que permiten la entrada de aire.

C) Si el petróleo pulverizado no quema enseguida, o si los quemadores se apagan por cualquier causa, espérese un tiempo prudencial antes de intentar una nueva ignición, para que así el hogar este libre de vapores de petróleo que con el aire forman una mezcla explosiva.

D) Límpiese los filtros con regularidad.

E) Cuando no se empleen los quemadores retíreselos y límpieselos a fondo.

16. PRECAUCIONES QUE DEBEN TOMARSE AL CONDUCIR UNA CALDERA CON QUEMADOR DE GAS

A) Compruébese que todas las válvulas cierren bien, y que no hay fugas en las uniones y accesorios de los caños.

B) Practíquese orificios en los registros de aire, de manera que aun cuando éstos estén cerrados totalmente, exista siempre una corriente de aire que arrastre el gas que pueda penetrar al hogar por alguna posible fuga o por cierre defectuosa de alguna válvula.

C) Antes de prender el fuego, asegúrese que las válvulas de gas están perfectamente cerradas, que los registros de aire están abiertos y que no eixste gas en el hogar.

D) Para prender el fuego utilícese una antorcha adecuada.

E) Si por cualquier causa se apaga el quemador, espérese bastante tiempo antes de intentar una nueva ignición, para que así haya desaparecido toda traza de gas del hogar.

F) No se intente prender el fuego utilizando la mampostería caliente; utilícese siempre una antorcha. *Muchos accidentes han ocurrido por no tomar esta precaución.*

G) Caliéntese el hogar lentamente, para que no se deteriore la mampostería o la caldera al producirse dilataciones desiguales por calentarse unas partes más que otras.

H) Cuando se utilice tiro forzado, hágase funcionar el ventilador un instante antes de prender el fuego, para eliminar toda posible acumulación de gas en el hogar. Déjese funcionar el ventilador también un cierto tiempo después de haber apagado el fuego; se evitarán así explosiones.

17. PRUEBA HIDRAULICA DE LA CALDERA

La prueba hidráulica tiene por finalidad comprobar si una caldera podrá resistir satisfactoriamente la presión de trabajo. Esta prueba se lleva a cabo en una caldera recién adquirida cuando se la somete a la prueba de recepción, o cuando se ha realizado alguna reparación importante, tal como el cambio de un tubo o la reparación de una chapa.

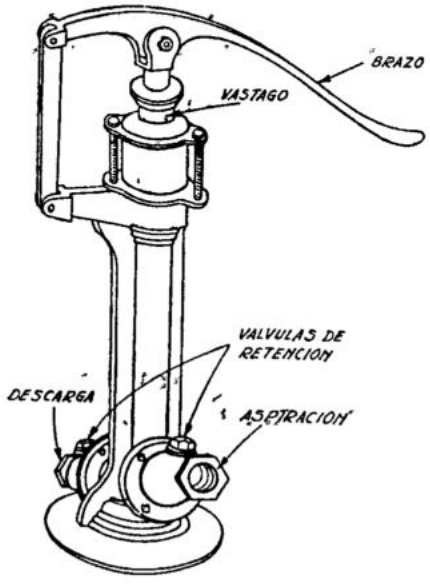


Fig. 3-IX. Bomba para la prueba hidráulica de calderas.

La prueba hidráulica se realiza en las condiciones establecidas por los reglamentos o códigos del estado, de las municipalidades o de las compañías de seguros.

Esta prueba tiene también por objeto determinar el lugar donde existen fugas en la caldera.

Para realizarla se llena la caldera con agua a la temperatura ambiente, siempre que ésta no sea inferior a 20° C y luego, mediante una bomba como la indicada en la fig. 3-IX, se le sigue introduciendo agua aumentando la presión hasta el valor fijado por los reglamentos.

Para estas pruebas de presión no se utiliza vapor ni aire porque en caso de que la caldera tuviese un defecto y explotara ello tendría consecuencias desastrosas. En cambio, si la caldera está llena de agua y se raja una chapa o revienta un tubo, sólo se produce un derrame de agua, pues como se ha visto en el Cap. I, el agua es prácticamente incompresible, y, por lo tanto, al producirse la rotura y bajar la presión de la caldera desde el valor a que está sometida hasta la presión atmosférica, la dilatación del agua es muy pequeña y sin consecuencias.

A continuación se establecen algunas reglas generales para realizar la prueba hidráulica.

1) No realizar nunca la prueba hidráulica estando caliente la caldera.
2) Antes de iniciar el ensayo compruébese que en la caldera no existe ningún material extraño, herramientas, trozos de incrustaciones, etc.
3) Enjuáguese la caldera con una manguera que envíe agua a la presión de 3 kg/cm^2, haciendo llegar agua a los domos, tubos, etc.
4) Independícense todas aquellas partes que no deben recibir la presión desarrollada durante el ensayo.
5) Póngase juntas nuevas. Asegúrese que las empaquetaduras y los orificios de limpieza están limpios.
6) Colóquense todas las tapas de los orificios de limpieza y de la entrada de hombre y ciérrese la caldera.
7) Instálese un manómetro patrón o uno calibrado para verificar el de la caldera.
8) Verifíquese si la válvula de seguridad opera libremente y asienta perfectamente. Luego amordácense todas las válvulas de seguridad; en general basta mantenerlas cerradas a mano.
9) Todas las conexiones de la caldera deben cerrarse con excepción de la válvula de ventilación, los niveles, y la línea de alimentación en los cuales debe aplicarse presión.
10) Si existe otra caldera sobre la misma línea, deberá dejarse abierta la válvula de purga que existe entre las válvulas principales de retención.
11) Llénese la caldera hasta que el agua comience a salir por la válvula de ventilación. Mientras se llena la caldera compruébese si están cerradas todas las purgas.
12) Auméntese lentamente la presión de la caldera inyectando agua con la bomba de mano. Se recomienda no aumentar la presión en más de 3,5 kg/cm^2 por minuto.
13) Cuando se alcance la presión de prueba, se realizará la inspección aconsejada por el reglamento correspondiente.
14) Si hay posibilidad puede observarse la caída de presión en la caldera durante un tiempo relativamente largo. Se acepta como máximo una caída de presión del 10 % de la de prueba en 24 horas.
15) Concluido el ensayo se disminuye la presión lentamente y luego se abren la válvula de ventilación y la de purga. Se verificará con especial cuidado que todas aquellas partes de la caldera que normalmente no contiene agua durante el funcionamiento de aquélla, tal como el sobrecalentador, los tubos de circulación que desembocan por encima del nivel normal de la caldera, etc., han sido purgadas y están libres de agua.
16) Si se usa durante el ensayo empaquetaduras temporarias para los orificios de limpieza y de entrada de hombre, ellas deben ser reemplazadas con las que se emplean normalmente antes de poner en servicio la caldera.

17) Eliminar todas las brjdas ciegas o amordazamientos de las válvulas de seguridad, lo que debe realizarse inmediatamente después de terminar el ensayo, pues en caso de olvido ello puede tener consecuencias ulteriores desagradables.

Para verificar ciertas partes de la caldera se la suele someter a la llamada *prueba del martillo*, que consiste en golpearlas con un martillo liviano. El estado de las partes ensayadas se comprueban mediante el sonido que emiten y por la naturaleza de sus vibraciones. La vibración se nota aplicando la punta de un dedo muy cerca del lugar donde se golpea.

TABLAS

TABLA N° 1

Pesos específicos de algunas sustancias

Líquidos

Agua destilada a 4° C	1,000
Agua de mar a 15° C	1,026
Alcohol	0,810
Leche	1,030
Vino	0,955
Aceite de oliva	0,915
Aceite lubricante	0,9 a 0,915
Nafta	0,8 a 0,860
Aire líquido	0,930

Metales

Aluminio	2,570
Cinc	7,160
Estaño	7,300
Hierro	7,800
Cobre	8,900
Plata	10,500
Plomo	11,350
Mercurio	13,600

Gases a 0° C y 760 mm de presión

Hidrógeno	0,090
Gas de alumbrado	0,480 a 0,570
Amoníaco	0,760
Vapor de agua	0,804
Oxido de carbono	1,250
Aire puro y seco	1,293
Gas de hogar de caldera	1,300
Oxígeno	1,429

TABLA Nº 2

Presión atmosférica en mm de mercurio
a distintas altitudes

Altitud m	*Presión mm Hg*
Nivel del mar (0)	760
100	750
500	714
1.000	674
2.000	596
3.000	526
4.000	462
5.000	405
6.000	354
7.000	308

TABLA N° 3

Calores específicos de gases a 0° y 760 mm Hg, kcal/m³

Agua	1	Bronce	0,092
Alcohol	0,615	Cobre	0,095
Petróleo	0,510	Plata	0,057
Hielo	0,500	Estaño	0,056
Carbón	0,220	Mercurio	0,033
Vidrio	0,200	Oro	0,032
Hierro y acero	0,114	Plomo	0,031

TABLA N° 4

Calores específicos de gases, kcal/kg

Gas	Calor específico a presión constante	Calor específico a volumen constante
Aire	0,238	0,170
Oxígeno	0,217	0,155
Nitrógeno	0,247	0,176
Hidrógeno	3,400	2,420
Oxído de carbono	0,243	0,172
Anhídrido carbónico	0,210	0,160
Amoníaco	0,530	0,410

TABLA N° 5

Calores específicos de gases en kcal/kg

Aire	0,308
Anhídrido carbónico	0,388
Anhídriço sulfuroso	0,419
Amoníaco	0,380
Hidrógeno	0,306
Metano	0,369
Nitrógeno	0,311
Oxido de carbono	0,311
Oxígeno	0,313

TABLA Nº 6

Coeficientes de conductibilidad térmica λ (kcal/mh°C)

Metales

	λ		λ
Acero (0,1 % C) a 100° C	45	Estaño a 200° C	52
Aluminio a 100° C	175	Fundición de hierro a 10° C	43
Bronce a 200° C	48	Latón a 20° C	79
Cobre de 20 a 200° C	335	Níquel a 10° C	50
		Cinc a 200° C	90

Materiales de construcción y refractarios

	λ		λ
Hormigón a 20°	1,10	Madera de pino ⊥ fibras a 15° C	0,14
Ladrillos refract. a 200° C	1	Madera de pino ∥ figras a 20° C	0,29
Ladrillos refract. a 500° C	1,16	Mampostería de ladr.	0,35 a 0,5
Madera de roble ∥ fibras a 20° C	0,36	Mármol	1,8 a 2,9
Madera de roble ⊥ fibras a 15° C	0,18	Placa de yeso a 20° C	0,37
		Vidrio a 17° C	0,72

Algunos materiales sólidos

	λ
Hollín	0,03 a 0,06
Incrustación de caldera con mucho yeso a 300° C	0,5 a 0,2
La misma, con mucha sílice a 300° C	0,07 a 0,15

Materiales aislantes a 100° C

	Peso específico kg/m³	λ
Masa de Kieselgur con arcilla	500	0,075
	800	0,135
	1.000	0,190
Magnesia y amianto, Kieselgur y amianto, piezas moldeadas de yeso ligero	200	0,056
	400	0,078
Lana de escoria de vidrio	200	0,045
	400	0,060
Materiales pulverulentos (Kieselgur, polvo de tragante, polvo de cal)	200	0,050
	500	0,073
	800	0,106
Amianto suelto	300	0,060
	500	0,128
Lana de escorias a 50° C	119	0,034
Corcho a 50° C	107	0,040
	100	0,044

TABLA N° 7

Dilatación lineal de sólidos

Cuarzo	0,000 000 5
Vidrio	0,000 009
Platino	0,000 009
Hierro	0,000 011
Cobre	0,000 014

TABLA N° 8

Temperatura normal de ebullición a 760 mm Hg. (°C)

Aire	−194
Oxígeno	−183
Amoníaco	−33,4
Alcohol	78
Bencina	81
Agua	100
Parafina	300
Mercurio	357
Azufre	444,6
Cinc	907

TABLA N° 9

Temperatura de ebullición del agua en función de la presión

Presión absoluta kg/cm^2	*Temperatura* ° C
1	99,12
2	119,87
3	133,4
4	143,6
5	152,1
10	181,2
20	211,38
30	232,76
40	249,18
50	262,70
100	309,53
150	340,56
200	364,08
224	373,6

TABLA N° 10

Tabla del vapor de agua saturado

Presión p kg/cm^2 (abs)	Temperatura t ° C	Volumen específico v m^3/kg	Peso específico γ m^3/kg	Calor del líquido q kcal/kg	Calor de vaporización r kcal/kg	Calor total $q + r = \lambda$ kcal/kg
0,1	45,4	14,95	0,066	45,41	571,6	617,0
0,5	80,86	3,301	0,3029	80,81	550,8	631,6
1,0	99,09	1,725	0,5797	99,12	539,4	638,5
2,0	119,62	0,9016	1,109	119,87	525,9	645,8
3,0	132,88	0,6166	1,622	133,4	516,9	650,3
4,0	142,92	0,4706	2,125	143,6	509,8	653,4
5,0	151,11	0,3816	2,621	152,1	503,7	655,8
6,0	158,08	0,3213	3,112	159,3	498,5	657,8
7,0	164,17	0,2778	3,600	165,6	493,8	659,4
8,0	169,61	0,2448	4,085	171,3	489,5	660,8
9,0	174,53	0,2189	4,568	176,4	485,6	662,0
10,0	179,04	0,1981	5,049	181,2	481,8	663,0
15,0	197,36	0,1343	7,446	200,6	466,0	666,6
20,0	211,38	0,1016	9,846	215,8	452,7	668,2
25,0	222,90	0,0815	12,26	228,5	440,9	669,4

TABLA N° 113

Poderes caloríficos de sólidos y líquidos

Combustibles	*Poder calorífico*
	kcal/kg
Sólidos	
Leña	2.400 a 3.700
Turba	2.000 a 4.200
Lignito	1.900 a 5.900
Hullas	5.000 a 8.100
Coque	5.500 a 7.200
Briquetas de lignito	4.400 a 7.600
Briquetas de hulla	6.200 a 7.600
Líquidos	
Petróleo	10.500
Nafta	10.000
Alquitrán de hulla	8.400
Benzol	10.000
Naftalina	5.800
Alcohol	9.600

Poderes caloríficos de gases

Combustibles	*Poder calorífico*
	kcal/m³
Acetileno	5.100
Gas de alumbrado	13.600
Gas de alto horno	900
Gas de gasógeno de: hulla	1.100
coque	900
leña	1.200
Gas natural	8.900 a 17.800

BIBLIOGRAFIA

Agenda Dunod, 1939. – Physique Industrielle. Izart. I.

Baulino, C. – Trattato di Macchine Termiche. Vol. II, 1938.

Croft, T. – Steam Boilers, 1937.

Gaffert, G. A. – Steam Power Stations, 1937.

Harding, L. – Steam Power Plant Engineering.

Haslam, R. T. y *Russell, R. P.* – Fuels and their combustion. 1926.

Izart, J. – Aide-Mémoire de l'Ingénieur Mécanicien. 1923.

Mesny, M. – Generación del Vapor. 1976.

Mesny, M. – Centrales Térmicas. Estudio de sus Ciclos. 1946.

Mesny, M. – Máquinas de Vapor. 1949.

Revista Power. – Operation and Maintenance. Diciembre 1946.

Rudorff, D. W. – Steam Generators. 1938.

Spring, H. M. – Boiler Operator's Guide. 1940.

Steiner, K. – Oil Burners. 1937.

Turin, A. – La Chaufferie Moderne. Les foyers des chaudières. 1925.

Colección Ciencia y Tecnología

ALGEBRA BOOLEANA
Wolf, Buchholz, Spiech y Shleuder

TERMODINAMICA
Melvin Mark

PRACTICAS DE METALOGRAFIA
Eduardo J. Dubox

CURSO BASICO DE ESTATICA
Aarón Helfgot

CURSO BASICO DE RESISTENCIA DE LOS MATERIALES
Aarón Helfgot

INTRODUCCION A LA METALURGIA
Eduardo R. Abril

METALURGIA
Eduardo R. Abril

ELECTROTECNIA
Armando Isernia

INSTALACIONES ELECTRICAS
Marcelo A. Sobrevila

MATEMATICA BASICA
José A. Petrocelli

CIRCUITOS ELECTRICOS Y MAGNETICOS
Marcelo A. Sobrevila

ELECTRONICA DEL ESTADO SOLIDO
Angel D. Tremosa

INTRODUCCION A LA INVESTIGACION OPERATIVA
Emir Ibarra

NOCIONES DE FIABILIDAD
Emir Ibarra

Serie Máquinas Térmicas
1. Generación del vapor
Marcelo Mesny

CENTRALES ELECTRICAS Y ESTACIONES TRANSFORMADORAS
Marcelo A. Sobrevila

Marymar Ediciones S.A.
Chile 1432 - Buenos Aires

Este libro ha sido redactado teniendo en cuenta los conocimientos que deben adquirir los foguistas y maquinistas que han de estar a cargo de calderas. En él figuran los conceptos fundamentales relativos a la producción del vapor de agua y todo lo concerniente al conocimiento de los distintos tipos de hogares y calderas.

Esta obra podrá ser utilizada con provecho por los estudiantes de las escuelas técnicas que cursan la asignatura Máquinas Térmicas y por todos aquellos que desean adquirir los conocimientos fundamentales de la producción del vapor.

Los principales temas que se estudian en este pequeño tratado son:

1) La combustión; 2) Hogares de carga a mano, mecánicos, de carbón pulverizado, de petróleo y de gas; 3) Calderas, su clasificación y descripción; 4) Calderas especiales; 5) El equipo de las calderas; 6) Chimeneas y tiro; 7) Depuración de humos; 8) Sobrecalentadores y recalentadores; 9) Economizadores; 10) Precalentadores de aire, y 11) Prueba de calderas.